



**TUGAS AKHIR - MO 141326**

**ANALISIS RISIKO PADA PIPA GAS TERHADAP RENCANA  
PEMBANGUNAN FLYOVER TELUK LAMONG**

**SELA FERDIANANTA A'YUN  
NRP. 04311440000075**

**Dosen Pembimbing :**

**Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc**

**Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS RISIKO PADA PIPA GAS TERHADAP RENCANA PEMBANGUNAN FLYOVER TELUK LAMONG

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

Sela Ferdiananta A'yun

04311440000075

Disetujui oleh:

1. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Pembimbing 2)

3. Ir. Imam Rochani, M.Sc. (Penguji 1)

4. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D. (Penguji 2)

5. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D. (Penguji 3)

Surabaya, Juli 2018

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ANALISIS RISIKO PADA PIPA GAS TERHADAP RENCANA PEMBANGUNAN *FLYOVER* TELUK LAMONG

Nama Mahasiswa : Sela Ferdiananta A'yun  
NRP : 04311440000075  
Departemen : Teknik Kelautan  
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.  
Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

### ABSTRAK

Pemancangan tiang pondasi *flyover* Teluk Lamong yang berada di dekat pipa gas milik PT. X, tentunya menimbulkan ancaman yang harus dihindari. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya *soil liquefaction* akibat getaran pemancangan yang dapat mempengaruhi pipa gas PT. X. *Soil liquefaction* dapat memicu penurunan tanah dan menyebabkan perubahan properties atau kerusakan pipa. Analisis risiko dilakukan dengan metode monte carlo untuk mencari peluang kegagalan dari sistem yang ditinjau. Penentuan konsekuensi dilakukan berdasarkan analisis tegangan pada pipa, dengan membandingkan nilai *combined stress* dan SMYS (*Specified Minimum Yield Strength*). Setelah mendapatkan hasil perbandingan, maka dilakukan perangkingan dengan matriks risiko DNVGL-RP-F107. Dari perhitungan dan analisis yang telah dilakukan berdasarkan data yang ada, diketahui bahwa peristiwa *soil liquefaction* tidak akan terjadi atau kemungkinan terjadinya sangat kecil, karena nilai *safety factor* dari KP 62+300 sampai KP 62+630 lebih besar dari 1 (satu) untuk percepatan getaran tanah minimum ( $\alpha_{\min} = 0,059$  g), rata-rata ( $\alpha_{\text{avg}} = 0,116$  g), dan maksimum ( $\alpha_{\max} = 0,323$ ), sehingga potensi penurunan tanah juga tidak ada. Nilai *combined stress* yang dibandingkan dengan SMYS menunjukkan konsekuensi untuk semua kilometer post, berada pada batas minimum kriteria  $< 0,9$  SMYS atau dengan kata lain konsekuensi pipa berada pada rangking terendah. Hasil tugas akhir ini menunjukkan posisi frekuensi dan konsekuensi berada di zona ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) pada matriks risiko.

**Kata kunci:** Analisis Risiko, Pipa Gas, *Soil Liquefaction*, CRR (*Cyclic Resistance Ratio*) dan CSR (*Cyclic Stress Ratio*)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **RISK ANALYSIS ON GAS PIPE DUE TO TELUK LAMONG FLYOVER BUILDING PLAN**

Name : Sela Ferdiananta A'yun  
NRP : 04311440000075  
Department : Ocean Engineering, Faculty of Marine Technology, ITS  
Supervisors : Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.  
Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

## **ABSTRACT**

The erection of the pile foundation of Teluk Lamong flyover which located near the gas pipe belonging to PT. X, certainly poses a threat to be avoided. The purpose of this research is to identify the possibility of soil liquefaction due to the vibration of piling erection that can affect gas pipeline PT. X. Soil liquefaction can trigger a settlement soil and cause changes in the properties or damage to the pipe. Risk analysis is done by monte carlo method to find the chance of failure of the system. Determination of consequences is done based on the stress analysis on the pipeline, by comparing the value of combined stress with SMYS (Specified Minimum Yield Strength). After obtaining the result of comparison, then rank with DNV GL RP-F107 risk matrix. From the calculation and analysis that has been done based on the available data, it is known that the soil liquefaction event will not happen or the possibility of occurrence is very small, because the safety factor value from KP 62+300 to KP 62+630 is greater than 1 for minimum ( $\alpha_{\min}=0,059$  g) ground vibration acceleration, average ( $\alpha_{\text{avg}}=0,116$  g), and maximum ( $\alpha_{\max}=0,323$ ). So the potential for ground loss (settlement) also does not exist. The combined stress value compared to SMYS shows the consequences for all kilometers post, at the minimum criterion of  $<0.9$  SMYS or in other words the consequence of the pipe is at the lowest rank (no damage). The result of this final project shows the position of frequency and the consequence is in ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) zone on the risk matrix.

**Keyword:** *Risk Analysis, Gas Pipe, Soil Liquefaction, CRR (Cyclic Resistance Ratio) and CSR (Cyclic Stress Ratio)*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil ‘alamiin. Puji syukur senantiasa dipanjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala nikmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Risiko pada Pipa Gas terhadap Rencana Pembangunan *Flyover* Teluk Lamong”.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Tugas akhir ini membahas tentang pengaruh kegiatan pemancangan *Flyover* Teluk Lamong pada keselamatan pipa gas yang berada di dekatnya.

Penulis menyadari laporan tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran sangatlah diharapkan penulis. Penulis berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Sela Ferdiananta A’yun

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak lepas dari rahmat Allah SWT, serta peran dan dukungan berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang Tua penulis, Bapak Miftahul Fatah dan Ibu Fa'atin yang telah memberi semangat, motivasi, doa dan nasehat yang luar biasa dalam pencapaian penulis menjalankan pendidikan tinggi.
2. Bapak Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing dan mengarahkan penulis untuk mencari filosofi tugas akhir.
3. Bapak Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing II dan Dosen Wali, yang telah memberikan nasihat selama masa perkuliahan dan arahan selama pengerjaan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan yang telah memberikan ilmu, wawasan, bantuan dan fasilitas selama masa perkuliahan.
5. Nabila Annisaa, Muariff Agustian dan Adi Kurniawan yang telah menemani malam-malam panjang penulis selama mengerjakan tugas akhir dan menyemangati penulis saat penulis meneteskan air mata dalam perjalanan bimbingan dan sidang akhir.
6. Laura Karennina Padaga, yang tidak bosan menasehati dan menyemangati penulis dalam berbagai kondisi.
7. Semua pihak yang tidak dapat ditulis satu persatu yang telah banyak membantu selama proses perkuliahan dan penyelesaian tugas akhir ini.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL .....	xix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Tujuan Penelitian.....	3
1.4    Manfaat Penelitian.....	4
1.5    Batasan Masalah.....	4
1.6    Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	7
2.1    Tinjauan Pustaka .....	7
2.2    Dasar Teori .....	9
2.2.1    Konstruksi <i>Flyover</i> Teluk Lamong.....	9
2.2.2    Pipa Gas Terpendam.....	10
2.2.3    Getaran Tanah.....	11
2.2.4    Beban Siklis .....	19
2.2.5 <i>Soil Liquefaction</i> .....	19
2.2.6    Metode untuk Mengevaluasi Terjadinya <i>Soil Liquefaction</i> .....	21
2.2.7    Kegagalan Jaringan Pipa Akibat <i>Soil liquefaction</i> .....	24
2.2.8    Penurunan Tanah .....	27
2.2.9    Analisis Risiko.....	29
2.2.10 <i>Preliminary Hazard Analysis</i> (PHA).....	32
2.2.11    Simulasi Monte Carlo .....	33
2.2.12    Estimasi Frekuensi Kejadian dan Konsekuensi Kejadian.....	34
2.2.13 <i>Upheaval Buckling</i> .....	38

BAB III METODE PENELITIAN.....	43
3.1    Diagram Alir ( <i>Flow Chart</i> ) .....	43
3.2    Prosedur Penelitian .....	44
3.3.1    Studi Literatur .....	44
3.3.2    Pengumpulan dan Pengolahan Data .....	44
3.3.3    Identifikasi <i>Hazard</i> pada Pipa Akibat Pembangunan <i>Flyover</i> .....	44
3.3.4    Penilaian Risiko .....	44
3.3.5    Menentukan Tingkat Risiko.....	45
3.3.6    Menentukan Tindakan Pencegahan .....	45
3.3.7    Penarikan Kesimpulan .....	45
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	47
4.1    Pengumpulan Data .....	47
4.1.1    Data Pipa Gas.....	47
4.1.2    Data Tanah.....	48
4.1.3    Data Pile <i>Hammer</i> .....	50
4.1.4    Data Lokasi Crossing Pipa Gas dan <i>Flyover</i> .....	50
4.2    Analisis Getaran Tanah Akibat Pemancangan .....	51
4.3    Identifikasi <i>Hazard</i> .....	53
4.4    Pengolahan Data.....	56
4.4.1    Perhitungan <i>Cyclic Resistance Ratio</i> (CRR) .....	56
4.4.2    Perhitungan <i>Cyclic Stress Ratio</i> (CSR) .....	57
4.4.3    Perhitungan <i>Safety Factor</i> .....	58
4.4.4    Perhitungan Penurunan Tanah .....	60
4.5    Perhitungan Frekuensi .....	62
4.6    Perhitungan Konsekuensi .....	64
4.8    Matriks Risiko .....	65
4.9    Rekomendasi Tindakan Preventif .....	67
BAB V PENUTUP.....	71
5.1    Kesimpulan.....	71
5.2    Saran .....	72
DAFTAR PUSTAKA .....	73
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rencana Pembangunan <i>flyover</i> Teluk Lamong.....	1
Gambar 1.2	Penampang Melintang Rencana Pemancangan.....	2
Gambar 2.1	Penanaman Pipa Gas Gresik-Semarang -1m.....	7
Gambar 2.2	Pipa dengan Beban Aksial.....	11
Gambar 2.3	Transfer Getaran dari <i>Hammer</i> , Melalui <i>Pile</i> ke Tanah.....	12
Gambar 2.4	Propagasi Gelombang (Pergerakan Getaran Tanah).....	13
Gambar 2.5	Parameter Utama yang Mempengaruhi Nilai PPV.....	14
Gambar 2.6	Pembangkitan Getaran Akibat Pemancangan.....	15
Gambar 2.7	Grafik Batasan Getaran DIN 4150-3.....	17
Gambar 2.8	Hubungan Diameter dengan Jarak Tanah <i>Disturbed</i> .....	18
Gambar 2.9	Grafik Pengaruh Peningkatan Tekanan Air Pori.....	20
Gambar 2.10	<i>Magnitude Scalling Factor</i> .....	23
Gambar 2.11	Grafik faktor reduksi, $r_d$ .....	24
Gambar 2.12	Grafik Distribusi ( $z_L$ ) dan Parameter B.....	26
Gambar 2.13	Matriks Risiko (DNVGL-RP-F107, 2017).....	30
Gambar 2.14	<i>Upheaval Buckling</i> .....	39
Gambar 2.15	Ilustrasi Mekanisme <i>Upheaval Buckling</i> .....	41
Gambar 3.1	Diagram Alir Analisis.....	43
Gambar 4.1	Pipa Gas Tampak (a) Isometri, (b) Potongan Melintang.....	48
Gambar 4.2	Typical Data Tanah di Lokasi Studi.....	49
Gambar 4.3	Asumsi Ketinggian Jatuh <i>Hammer</i> .....	50
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Simulasi dengan Code DIN 4150-3.....	52
Gambar 4.5	Hasil Simulasi Getaran Tanah Akibat Pemancangan.....	53
Gambar 4.6	Grafik <i>Safety Factor</i> untuk KP 62+300 – KP 62+630.....	60
Gambar 4.7	Grafik Nilai B untuk KP 62+300 – KP 62+630.....	62
Gambar 4.8	Matriks Risiko (DNVGL-RP-F107, 2017).....	66
Gambar 4.9	<i>Sheet pile</i> sebagai Pelindung Getaran Akibat Pemancangan.....	67
Gambar 4.10	<i>Open cut</i> sebagai Pemutus Getaran Akibat Pemancangan.....	68

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Standart/Code Acuan dalam Pengerjaan Tugas Akhir.....	4
Tabel 2.1	Nilai-nilai Konstanta PPV.....	16
Tabel 2.2	Batasan Getaran pada Pipa Sesuai DIN 4150-3.....	16
Tabel 2.3	<i>Equivalent Number of Cycle Versus Vibration Magnitude</i> .....	22
Tabel 2.4	Kriteria Ranging Frekuensi (DNVGL-RP-F107, 2017) .....	31
Tabel 2.5	Kriteria Ranging Konsekuensi (DNVGL-RP-F107, 2017) .....	31
Tabel 4.1	Data Pipa yang Berada di Lokasi Studi.....	47
Tabel 4.2	Properties Pipa.....	48
Tabel 4.3	Data Energi <i>Hammer</i> .....	50
Tabel 4.4	Lokasi Test Pit Crossing Pipa Gas dengan <i>Flyover</i> .....	51
Tabel 4.5	Identifikasi <i>Hazard</i> dengan PHA pada Pipa Gas.....	54
Tabel 4.6	Identifikasi <i>Hazard</i> dengan PHA pada Pipa Gas (Lanjutan).....	55
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan CRR KP 62+300 - KP 62+630.....	56
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan CSR KP 62+300 - KP 62+630.....	57
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan CSR KP 62+300 - KP 62+630 (Lanjutan).....	58
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> .....	58
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan <i>Safety Factor</i> (Lanjutan) .....	59
Tabel 4.12	Hasil dari Perhitungan Penurunan Tanah.....	61
Tabel 4.13	Hasil Peluang Kegagalan akibat <i>Soil Liquefaction</i> .....	63
Tabel 4.14	Hasil <i>Failure Frequency</i> akibat <i>Soil Liquefaction</i> .....	63
Tabel 4.15	Ranging Perhitungan Konsekuensi.....	64
Tabel 4.16	Ranging Perhitungan Konsekuensi (Lanjutan).....	65
Tabel 4.17	Tabulasi Matriks Risiko.....	66

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

$F_{ax}$	= Beban arah aksial
PPV	= <i>Peak Particle Velocity</i> (mm/s)
$k$	= Konstanta tanah yang ditentukan melalui percobaan ( $m^2/sJ^{0.5}$ )
Wt	= Input energi (J)
D	= Jarak radial antara pile dan titik monitor (m)
n	= Index empiris ( <i>attenuation rate</i> rentang 1.0 sampai 2.0)
$\alpha_{max}$	= Percepatan getaran tanah maksimum ( $m/s^2$ )
$\tau$	= Tegangan geser tanah ( $N/m^2$ )
$\sigma'$	= Tegangan efektif ( $N/m^2$ )
$\phi$	= Sudut geser tanah
N	= Jumlah <i>cycle</i> versus <i>magnitude</i>
$\tau_{cyc}$	= Tegangan geser rata-rata
g	= Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )
rd	= Faktor reduksi terhadap tegangan
$\sigma_v$	= Tegangan vertikal total ( $N/m^2$ )
$\sigma_v'$	= Tegangan vertikal efektif ( $N/m^2$ )
$u_w$	= Tekanan air pori
H	= Kedalaman (m)
$\gamma_{sat}$	= Berat volume jenuh air ( $N/m^3$ )
$\gamma_d$	= Berat volume kering ( $N/m^3$ )
$\gamma_w$	= Berat volume air ( $N/m^3$ )
$\gamma'$	= Berat volume tanah efektif ( $N/m^3$ )
H	= Tinggi muka air (m)
Ko	= Koefisien tekanan lateral tanah
Cv	= Koefisien konsolidasi ( $m^2/s$ )
G	= Modulus geser ( $N/m^2$ )
K	= Permeabilitas tanah (m/s)
T	= Periode gelombang (s)
$\nu$	= Poisson's ratio
k	= Angka gelombang
a dan $\beta$	= Konstanta empiris fungsi dari densitas relative

$P_b$	= Amplitudo tekanan gelombang dinamik (m)
$F_k$	= Frekuensi kejadian
$P$	= Peluang kegagalan dari sistem
$P_g$	= Peluang gagal dari seluruh kejadian
$n$	= Jumlah kejadian gagal
$N_k$	= Jumlah seluruh kejadian
$E$	= <i>Joint factor</i>
$F$	= <i>Design factor</i>
$E$	= Modulus elastis, psi (MPa), pada suhu kamar
$T_1$	= Temperatur desain, °F (°C)
$T_2$	= Temperatur operasi, °F (°C)
$\alpha$	= Koefisien thermal expansion 1/°F (1/°C)
$M$	= <i>Bending moment across pipe cross section, lb-in. (N.m)</i>
$Z$	= <i>Pipe section modulus, in<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>)</i>
$R$	= <i>External force axial component, lb (N)</i>
$A$	= <i>Pipe metal cross-sectional area, in<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)</i>
$P_c$	= Tekanan tanah yang bekerja pada pipa (MPa)
$A_c$	= Luas penampang segmen pipa (mm <sup>2</sup> /mm panjang)
$W_p$	= Berat pipa dan isinya (N/m)
$G_s$	= <i>Specific gravity</i>
$H$	= Tinggi muka air diukur dari permukaan tanah dalam bidang (m)
$z$	= Kedalaman titik didalam tanah
$E$	= <i>Young's Modulus of Elasticity</i>
$\epsilon_x$	= <i>Axial Strain</i>
$\alpha_s$	= <i>Linear coefficient of thermal expansion</i>
$T_p$	= <i>Average product temperature</i>
$T_a$	= <i>Ambient temperature</i>
$\sigma_x$	= <i>Axial Stress</i>
$\sigma_h$	= <i>Hoop Stress</i>
$\sigma_r$	= <i>Radial Stress</i>

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

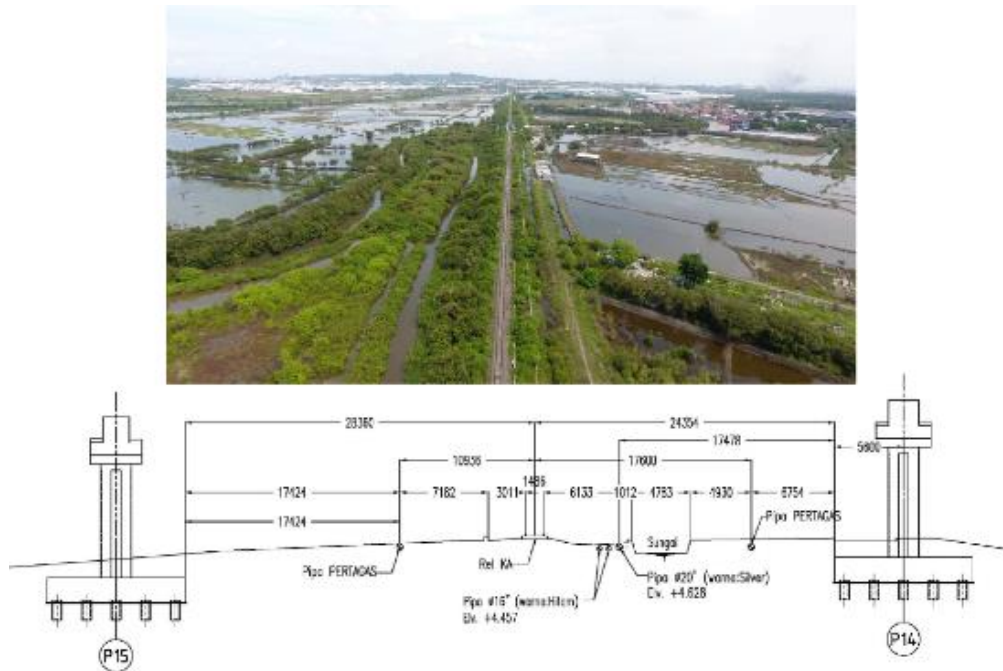
Pasca beroperasinya Terminal Teluk Lamong, terjadi peningkatan pertumbuhan ekonomi yang tinggi baik dalam skala Jawa Timur maupun Nasional. Seperti yang diungkapkan oleh Direktur Teknik, Teknologi Informasi dan Komunikasi PT. Pelabuhan Indonesia III yg selanjutnya disingkat Pelindo III, Husein Latief dalam *Press Release* Pelindo III tanggal 05 Februari 2018, “Kapasitas Teluk Lamong pada fase awal pengembangan sudah mencapai 1,5 juta TEUs. Pada fase final, jumlahnya (petikemas) akan mencapai 6 juta TEUs”.

Peningkatan kapasitas Teluk Lamong tersebut tentunya perlu ditopang dengan kesiapan infrastruktur, sebagai solusi Pelindo III membangun *flyover* ke arah Teluk Lamong.



Gambar 1.1 Rencana Pembangunan *Flyover* ke arah Pelabuhan Teluk Lamong  
(Sumber: Dokumen PT. Pelabuhan Indonesia III)

Gambar 1.1 menunjukkan bahwa, *flyover* akan dibangun melintasi jalur kereta api, dimana di samping jalur kereta api tersebut terdapat pipa gas milik perusahaan swasta yang mengalirkan gas dari Gresik ke Semarang.



Gambar 1.2. Penampang Melintang Rencana Pemancangan

(Sumber: Dokumen PT. Pelabuhan Indonesia III)

Gambar 1.2 di atas menunjukkan bahwa pemancangan akan dilakukan dengan jarak 6 meter dari pipa gas. Keberadaan pipa gas di dekat proyek konstruksi pembangunan *flyover* tentu menimbulkan ancaman tersendiri, ditambah lokasi pipa gas yang dimaksud berada di dekat pemukiman warga.

Mengacu pada peristiwa ledakan pipa gas di dalam tanah yang bersinggungan dengan proyek pembetonan MRT, milik Perusahaan Dalam Negeri pada tahun 2014 di Jalan Sudirman, Jakarta. Yang perlu digaris bawahi adalah bahaya dari kebocoran pipa gas tersebut dapat memakan korban jiwa, disamping ada konsekuensi berupa kerugian materil.

Oleh karena itu, penilaian frekuensi kejadian dan konsekuensi, akibat kegagalan jaringan pipa gas menjadi sangat penting untuk diteliti. Risiko yang timbul jika pipa gas mengalami kerusakan dapat membahayakan berbagai hal di sekitarnya. Penelitian ini mencakup tentang analisa risiko terkait pengaruh pekerjaan pembangunan *flyover* Teluk Lamong pada keselamatan pipa gas. Bila tingkat risiko melampaui batas yang dapat diterima, maka akan direncanakan alternatif tindakan pencegahan risiko.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa *hazard* yang paling signifikan terjadi pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong?
2. Bagaimana perhitungan frekuensi *hazard* signifikan pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong?
3. Bagaimana perhitungan konsekuensi *hazard* signifikan pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong?
4. Bagaimana penilaian risiko pada pipa gas terhadap pembangunan *flyover* Teluk Lamong?
5. Apa saja rekomendasi tindakan pencegahan apabila risiko pada pipa gas berada pada level yang tidak dapat diterima?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Mengidentifikasi *hazard* yang paling signifikan terjadi pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong.
2. Mengetahui perhitungan frekuensi *hazard* signifikan pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong.
3. Mengetahui perhitungan konsekuensi *hazard* signifikan pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong.
4. Menentukan penilaian risiko pada pipa gas terhadap pembangunan *flyover* Teluk Lamong.
5. Menentukan rekomendasi tindakan pencegahan, apabila risiko pada pipa gas berada pada level yang tidak dapat diterima.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui *hazard* signifikan yang terjadi pada pipa gas dalam proses pembangunan *flyover* Teluk Lamong, sehingga dapat dilakukan langkah pencegahan jika *hazard* tersebut berada pada tingkat yang tidak dapat diterima.
2. Dapat memberikan pengetahuan dan pemahaman mengenai analisis risiko pada pipa gas terhadap rencana pembangunan *flyover* Teluk Lamong untuk pihak terkait serta masyarakat pada umumnya.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan oleh pihak terkait serta dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut.

#### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Penelitian dilakukan hanya pada pipa gas milik PT. X yang akan dilalui *flyover* menuju Teluk Lamong.
2. Penelitian dilakukan pada tahap pemancangan tiang *flyover*. Selanjutnya istilah *flyover* hanya merujuk pada bagian segmen *flyover* yang berada diatas lintasan pipa gas.
3. Analisis risiko dilakukan hanya berdasarkan *soil liquefaction* dan *settlement* yang diasumsikan terjadi akibat pemancangan.
4. Standart yang di pakai dalam penelitian ini dirangkum dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Standart/Code Acuan dalam Pengerjaan Tugas Akhir

Nama Standart/Code	Tahun	Judul	Keterangan
ASME B 31.8	2016	<i>Gas Transmission and Distributing Piping System</i>	Dasar perhitungan tegangan-tegangan pada pipa
DIN 4150-3	2016	<i>Structural vibration</i>	Dasar batasan getaran pada pipa
DNVGL-RP-F107	2017	<i>Risk Assessment of Pipeline Protection</i>	Dasar matriks risiko



## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah:

### **Bab I. Pendahuluan**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang studi yang akan dilakukan, meliputi: rumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai, manfaat yang diharapkan, batasan penelitian untuk membatasi analisis yang dilakukan serta sistematika penulisan laporan.

### **Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori**

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis berpedoman pada beberapa penelitian tentang analisis risiko pipa gas, analisis potensi kerusakan struktur tanah akibat kegiatan pemancangan, dampak penurunan tanah terhadap pipa dan tindakan preventif yang dapat dilakukan untuk meminimalisir dampak dari bahaya kegagalan pipa.

### **Bab III. Metodologi Penelitian**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah pengerjaan dalam penyelesaian tugas akhir, beserta metode-metode yang digunakan.

### **Bab IV. Analisis dan Pembahasan**

Bab ini berisi analisis permasalahan yang terjadi dan solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

### **Bab V. Penutup**

Bab ini berisi simpulan dari analisis dan saran yang bermanfaat guna keberlanjutan penelitian di masa yang akan datang.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Pipa adalah saluran tertutup sebagai sarana transportasi fluida baik cair maupun gas. Ramírez-Camacho, J.G., et al. (2016) dalam jurnalnya menyatakan, di beberapa tempat keberadaan jaringan pipa, memiliki pengaruh yang jelas pada perencanaan penggunaan lahan, terutama di zona dengan aktivitas industri yang intens. Adanya jaringan pipa di zona yang pada awalnya tidak dihuni atau tidak terusik, yang kemudian ada pengerjaan konstruksi di sekitarnya tentu menimbulkan ancaman pada pipa (terutama pipa gas dan cairan berbahaya lainnya). Bahkan untuk daerah tak berpenghuni, sebuah kecelakaan pipa gas atau cairan berbahaya lain dapat menimbulkan konsekuensi serius terhadap lingkungan, mencemari tanah, air atau atmosfer. Pipa dalam kondisi tertentu akan di tanam dibawah tanah untuk menghindari bahaya disekitarnya, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penanaman Pipa Gas Gresik-Semarang -1m di bawah Tanah  
(Prismono, 2016)

Bahaya disekitar pipa gas dapat menjadi ancaman dan bahkan menimbulkan kecelakaan. Kerusakan jaringan pipa gas alam adalah bencana, karena bahaya gas alam dapat menghadirkan perpanjangan bahaya skala besar, yang dapat dengan mudah mengakibatkan kecelakaan (Wu, Jiangsong., et al. 2017).

Ramírez-Camacho, J.G., et al. (2016) dalam jurnalnya menjelaskan, penyebab paling sering dari terjadinya kecelakaan pipa, adalah aktivitas pihak ketiga. Selain itu menurutnya, aktivitas yang berkaitan dengan pembangunan gedung baru atau infrastruktur baru di dekat pipa gas juga memberikan efek kerusakan yang signifikan.

Dalam penelitian Olivia, V. dkk. (2016) dijelaskan bahwa aktivitas pemancangan akan meningkatkan tekanan air pori dalam tanah di area sekitarnya. Peningkatan tekanan air ke titik di mana partikel tanah dapat dengan mudah bergerak terhadap satu sama lain umumnya dipicu oleh gempa, namun kegiatan konstruksi seperti pemancangan juga dapat menyebabkan peningkatan tekanan air.

(Poulos dan Davis, 1980) menyatakan, pada tanah lempung jenuh, tekanan air pori akan meningkat dan hal ini dapat menurunkan kekuatan geser tanah. (Meinata L. E. dkk., 2010) dalam penelitiannya juga mengungkapkan hal yang sama yaitu, pemancangan pondasi tiang pada tanah lempung mengakibatkan desakan butiran tanah dan meningkatkan tekanan air pori.

Peningkatan tekanan air pori memicu perubahan sifat tanah menjadi seperti benda cair atau yang biasa disebut *soil liquefaction*. Likuifaksi terjadi di tanah jenuh, yaitu tanah di mana ruang antara partikel individu benar-benar penuh dengan air. Air ini memberikan suatu tekanan pada partikel tanah yang mempengaruhi seberapa erat partikel itu sendiri ditekan bersamaan.

Bahaya pipa gas yang ditanam di bawah tanah dan di dekatnya dilakukan pemancangan tiang untuk pondasi *flyover* tentu memerlukan analisis lebih lanjut. Oleh karena itu, Merrit, J. (1998) mengungkapkan, pentingnya peningkatan kesadaran akan masalah keamanan sistem keteknikan yang risikonya dianalisis secara kualitatif. Esford, et al. (2004) telah memberikan penilaian kualitatif untuk prosedur perancangan tingkat risiko pada pipa serta lokasi kerusakannya, untuk mengatasi potensi kerusakan pipa dari *geohazard* yang terjadi.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Konstruksi *Flyover* Teluk Lamong

*Flyover* atau jalan layang adalah jalan bebas hambatan yang dibangun tidak sebidang/ melayang untuk menghindari konflik di persimpangan seperti, melewati persilangan kereta api, melalui kawasan rawa-rawa atau kawasan kumuh yang sulit.

*Flyover* Teluk Lamong merupakan salah satu Program Strategis Nasional (PSN) yang telah diamanahkan pemerintah kepada PT. Pelabuhan Indonesia III. Tujuan pembangunannya untuk aksesibilitas darat, yaitu untuk memberikan alternatif baru bagi para pengguna jalan raya, utamanya pengendara truk pengangkut petikemas yang kerap menjadi salah satu penyebab kepadatan lalu lintas di sepanjang Jalan Kalianak menuju Tambak Osowilangun (Pelindo III, 2018).

*Flyover* akan dibangun sepanjang 2,4 km dengan kontur jalan layang (*elevated*) sepanjang 1,8 km dan jalan darat (*landed*) di sisi Benowo sepanjang 350 meter. Sedangkan untuk lebar ruas jalan *flyover* adalah 40 meter (Pelindo III, 2018).

Dalam hal konstruksi, Pelindo menekan kontrak kerjasama dengan Perusahaan kontraktor perseroan. Konstruksi sendiri merupakan kegiatan membangun sarana maupun prasarana. Untuk mengetahui risiko yang dapat terjadi selama pembangunan *flyover* yaitu risiko yang mungkin berdampak pada kerugian baik berupa jiwa, aset atau lingkungan sekitarnya. Maka diperlukan tahapan pekerjaan konstruksi yang sistematis seperti:

a. Perencanaan bangunan bawah *flyover*, meliputi:

1. Perencanaan *abutment*.
2. Perencanaan pondasi.

Dalam proses pembangunan pondasi *flyover* yang umumnya berupa tiang pancang, sangat mungkin terjadi perubahan struktur tanah akibat proses pemancangan yang dapat memicu kerusakan pipa.

Psyrras dan Sextos (2017) menegaskan bahwa, berbeda dengan kepercayaan umum, deformasi tanah sementara di tempat yang tidak seragam tidak boleh diabaikan karna dapat menyebabkan deformasi yang

tidak diinginkan pada pipa. Deformasi tanah akibat pembangunan pondasi *flyover* tentu perlu dipertimbangkan demi keselamatan pipa.

b. Perencanaan bangunan atas *flyover*, meliputi:

- |                                       |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| 1. Sistem pembebanan.                 | 5. Tiang sandaran. |
| 2. Trotoar.                           | 6. Pelat lantai.   |
| 3. Balok prategang ( <i>girder</i> ). | 7. Diafragma.      |
| 4. <i>Deck slab</i> .                 |                    |

c. Perencanaan bangunan pelengkap *flyover*, meliputi:

1. Pelat injak.
2. *Wingwall*.

d. Perencanaan oprit *flyover*.

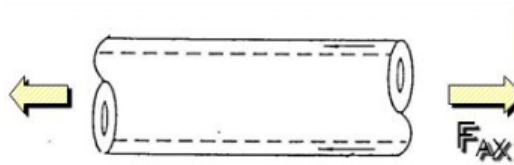
Oprit jembatan adalah timbunan tanah atau urugan di belakang *abutment* yang dibuat sepadat mungkin untuk menghindari penurunan.

### 2.2.2 Pipa Gas Terpendam

Pipa penyalur yang dikubur di dalam tanah, biasanya memiliki tujuan untuk melindungi jaringan pipa dari kemungkinan kerusakan akibat aktivitas daratan. Pipa gas terpendam khususnya yang mengangkut *hydrocarbon*, baik cair maupun gas menanggung lebih banyak risiko dalam hal perlindungan terhadap lingkungan, daripada jaringan pipa di atas tanah.

Dengan risiko yang lebih tinggi, maka pipa gas terpendam harus mampu mengakomodasi beban lain disamping tekanan internal fluida, seperti mampu menahan *overburden* tanah, *ground water*, beban di permukaan tanah seperti lalu lintas kendaraan dan beban akibat gerakan seismik.

Pipa gas dalam penelitian ini merupakan pipa gas *open acces*. Seperti yang telah banyak diketahui bahwa, pipa gas *open acces* memiliki masalah yang lebih kompleks dibandingkan pipa perniagaan. Tekanan pada pipa gas harus dijaga dalam batas atas dan bawah. Jika tekanan terlalu rendah pasokan gas ke konsumen akan terganggu (mengarah pada situasi kritis darurat) dan jika terlalu tinggi dapat terjadi *gas loss*. Pipa gas terpendam yang memiliki tekanan operasi tinggi berpotensi besar mengalami beban tekan axial, beban axial tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pipa dengan Beban Aksial

$F_{ax}$  = Beban arah aksial

Gambar 2.2 menunjukkan penampang memanjang pipa yang dikenai beban aksial. Beban aksial adalah gaya yang searah dengan pipa (arah longitudinal pipa). Jika pergerakan lateral terhambat akibat terkuburnya pipa yang terpengaruh beban aksial maka *upheaval buckling* dapat terjadi.

### 2.2.3 Getaran Tanah

#### - Definisi Getaran

Getaran adalah waktu berbagai kuantitas yang dapat diwakili sebagai: *displacement of a point (amplitude)*; Tingkat perubahan *displacement (particle velocity)*, Tingkat perubahan *velocity (particle acceleration)* (Whyley, P. J. dan Sarsby, R.W. 1992).

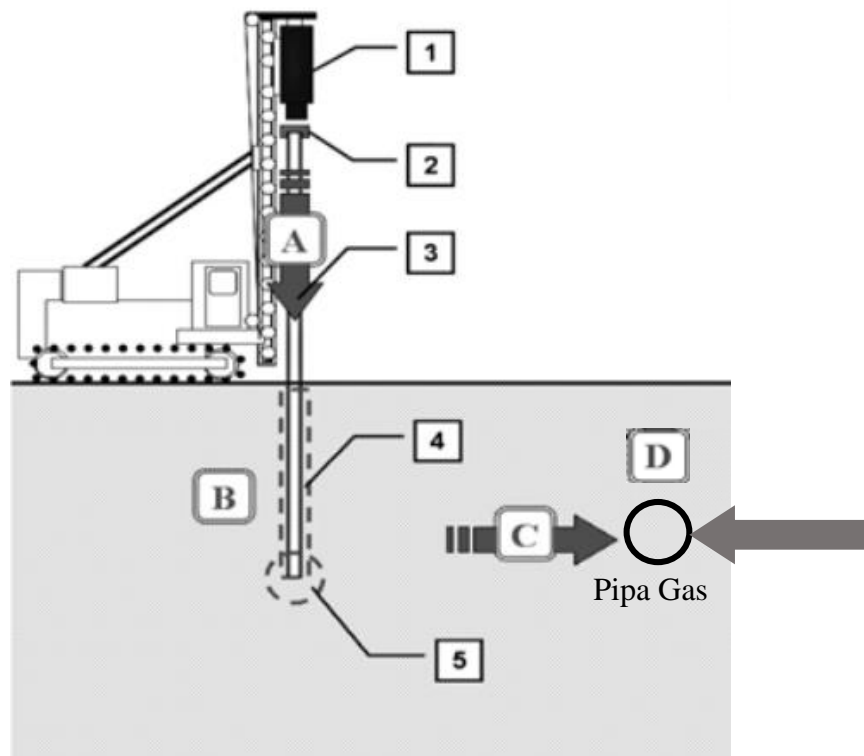
Tingkat getaran tanah pada struktur tergantung pada tingkat energi getaran sumber; medium tanah; heterogenitas dan ketidakpastian endapan tanah di suatu situs, jarak dari sumber, karakteristik propagasi gelombang di situs, karakteristik dinamis dan peringkat kerentanan struktur yang berdekatan maupun yang jauh dengan sumber getaran. Ada kemungkinan bahwa getaran struktur yang intolerable dapat diinduksi dekat dengan sumber dinamis. Namun, kerusakan struktur substansial dapat terjadi juga pada jarak yang jauh dari sumber, karena efek dinamis dari getaran tanah frekuensi rendah. Getaran tanah dapat dihitung atau diprediksi sebelum awal konstruksi.

Sistem getaran lengkap terdiri dari sumber, jalur dan reseptor. Setiap bagian dari sistem mengubah karakteristik getaran. Dalam tulisan ini, hanya propagasi getaran tanah dan respons struktural yang dibahas. Getaran tanah akibat pemancangan dapat mempengaruhi bangunan di sekitarnya baik yang dekat maupun jauh dalam beberapa jalan yang berbeda. Karena deformasi

tanah elastis dan plastis akan menyebabkan perbedaan respon struktur dan kerusakannya.

- Rantai Transmisi Getaran Tanah Akibat Pemancangan

Massarsch, K. R. dan Westerberg, E. (1995) telah membuat referensi mengenai rantai transmisi getaran akibat *pile driving*, dalam prinsip dasar proses penetrasi tiang dan getaran tanah. Ketika *pile driving hammer* mengenai *pile head*, gelombang stress atau regangan, yaitu, getaran, dihasilkan. Getaran kemudian menyebar pada frekuensi dan amplitudo tertentu di bawah pile (dalam tanah), dan menuju ke struktur yang berdekatan. Gambar 2.3 mengilustrasikan proses transmisi getaran tanah selama pemancangan tiang.

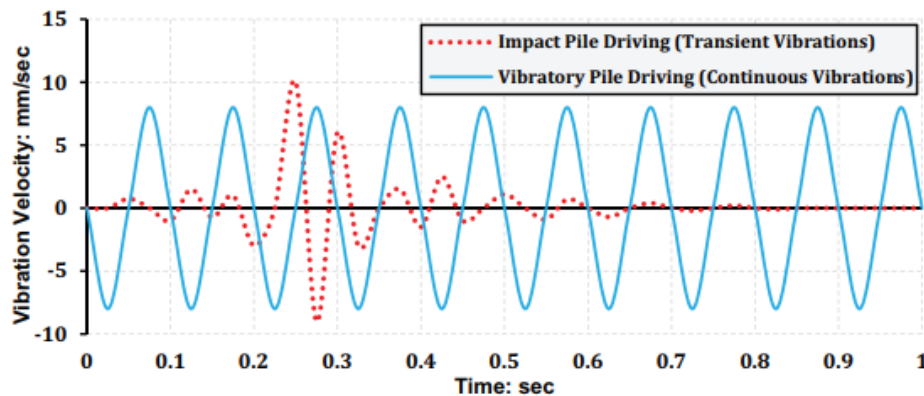


Gambar 2.3 Transfer Getaran dari *Hammer*, Melalui *Pile*, Menuju Tanah Sekitar, ke bawah dan Menuju ke Struktur yang Berdekatan.

Dari Gambar 2.3 diketahui bahwa, terdapat empat aspek utama yang menjadi faktor perambatan getaran selama pile driving dengan *hammer impact*. Ke empat aspek utama itu dijelaskan sebagai berikut:



- A. **Perambatan gelombang akibat *hammer impact***: energi yang dihasilkan oleh *impact* palu (1) pada *pile cap* dan *pile head* (2) yang ditransmisikan melalui *pile* (3).
- B. **Pile-soil interaction**: getaran ditransmisikan dari *pile driving* dan sifat dinamis tanah sepanjang *pile shaft* (4) dan di *pile toe* (5).
- C. **Perambatan gelombang di tanah**: transmisi getaran melalui lapisan tanah dan air tanah.



Gambar 2.4 Propagasi Gelombang (Pergerakan Getaran Tanah)

Gambar 2.4 menjelaskan propagasi gelombang ketika *hammer impact* diterapkan ke *pile head*, getaran meningkat diantara tanah dan pipa, kemudian merambat ke tanah disekitarnya. Perambatan gelombang terjadi di seluruh lapisan tanah dalam bentuk getaran sebagai akibat dampak *pile driven* atau getaran kontinu. Perlu dicatat bahwa getaran tanah yang dihasilkan dari kegiatan konstruksi dapat diklasifikasikan menjadi getaran sementara dan terus menerus. Akhirnya, getaran tanah berdampak pada struktur apa pun di jalurnya, dan kerusakan struktural dapat terjadi melalui interaksi tanah-struktur

- D. **Interaksi tanah-struktur dinamis**: respons dinamis pipa dan amplifikasi getaran dalam struktur.

Kecuali ke empat aspek tersebut maka tidak mungkin menyebabkan masalah getaran tanah. Bahkan dalam beberapa kasus interaksi struktur tanah dan respon dinamis dari bangunan (pipa gas) yang mengalami getaran dapat ditangani tanpa mempertimbangkan aspek penting dari transfer stress dan

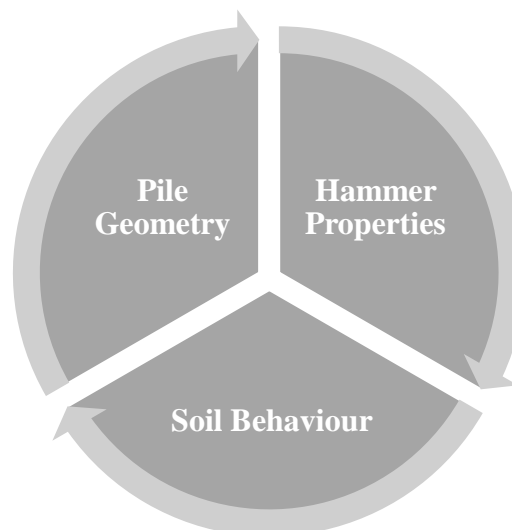
getaran melalui seluruh sistem: termasuk getaran ditransmisikan dari palu ke *pile* dan sifat dinamis tanah.

- Perhitungan dan Prediksi Getaran Tanah terhadap Pipa Gas

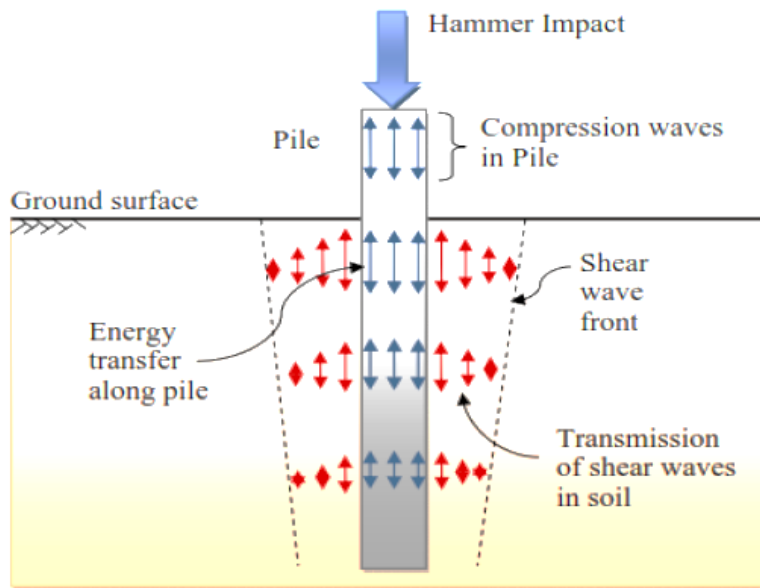
Tidak ada standar Inggris atau internasional yang mendefinisikan secara tepat ambang getaran untuk kerusakan struktur. Tetapi, mayoritas praktisi menggunakan literatur *peak particle velocity* (PPV) sebagai kriteria terbaik untuk menghitung intensitas getaran tanah transient, berdasarkan aktivitas konstruksi seperti akibat pemancangan dan memperkirakan kerusakan yang mungkin terjadi pada struktur. Penentuan PPV maksimum selama konstruksi dapat dilakukan dengan empat pendekatan yaitu: PVS, SRSS, *peak undirectional velocity* dan *peak vertical velocity*.

Sebagaimana getaran akibat gempa yang menjalar melalui batuan, ada pergerakan partikel-partikel. Gerakan partikel tanah (*vibration*) terjadi dalam tiga dimensi yaitu vertikal, radial dan transversal. Dalam banyak kasus PPV berhubungan dekat dengan potensi kerusakan struktur dari pada percepatan atau pergerakan batuan.

Besarnya nilai PPV ini sangat ditentukan oleh parameter-parameter seperti terlihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Parameter-parameter Utama yang Mempengaruhi Besarnya Nilai PPV pada Kasus Pemancangan dengan *Diesel Hammer*



Gambar 2.6 Pembangkitan Getaran Akibat Pemancangan

Gambar 2.6 mengilustrasikan penjaralan getaran tanah akibat proses pemancangan dengan menggunakan *diesel hammer*. Besarnya nilai PPV (dalam arah vertikal sama dengan dalam arah horizontal) akibat pemancangan dihitung dengan menggunakan persamaan skala jarak sebagai berikut (Attewell dan Farmer, 1973):

$$PPV = k \left[ \frac{D}{\sqrt{W_t}} \right]^{-n} \quad (\text{Pers 2.1})$$

Dengan,

PPV = *Peak Particle Velocity* (mm/s)

$k$  = Konstanta tanah yang ditentukan melalui percobaan ( $\text{m}^2/\text{sJ}^{0.5}$ )

$W_t$  = Input energi. Dalam hal ini adalah energi *hammer* (J)

$D$  = Jarak radial antara pile dan titik monitor (m)

$n$  = Index empiris (*attenuation rate* rentang 1.0 sampai 2.0)

Konstanta  $K$  dan  $n$  disebut sebagai faktor tempat (*site factor*). Nilai tersebut menyatakan energi yang ditransferkan dari kegiatan pemancangan ke tanah sekitarnya. Harga konstanta-konstanta pada persamaan di atas telah banyak dipublish di berbagai literatur, seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai-nilai Konstanta PPV

Literature	Parameters		Velocity component
	n	k	
Attewell & Farmer (1973)	1	1.5	Vertical PPV
Whyley & Sarsby (1992)	1	0.25 (soft or loose soil) 0.75 (stiff or medium dense soil) 1.5 (stiff or dense soil)	
Attewell et al. (1992a)	0.87	0.76	Vertical PPV
Hiller & Crabb (1998)		3 (stiff or medium dense soil)	
Head & Jardine (1992)	1 1.54*	1,5 (for $r > 0.5$ m) 0.2*	SRSS
BSI (1992a)	1	0.75	
CEN (1998)	1	0.5 (soft cohesive soil) 0.75 (stiff cohesive soil) 1.0 (very stiff cohesive soil)	
ArcelorMittal (2008)	1	<b>Impact driving</b> 0.5 (soft cohesive soil, loose granular media, loose fill and organic soils) 0.75 (stiff cohesive soils, medium dense granular media, compact fill) 1.0 (very stiff cohesive soil, dense granular media, rock, fill with large obstructions) <b>Vibratory driving</b> 0.7 (all soil conditions)	

\*At the base of the foundation

- Batasan Getaran Akibat Pemancangan untuk Pipa (DIN 4150-3)

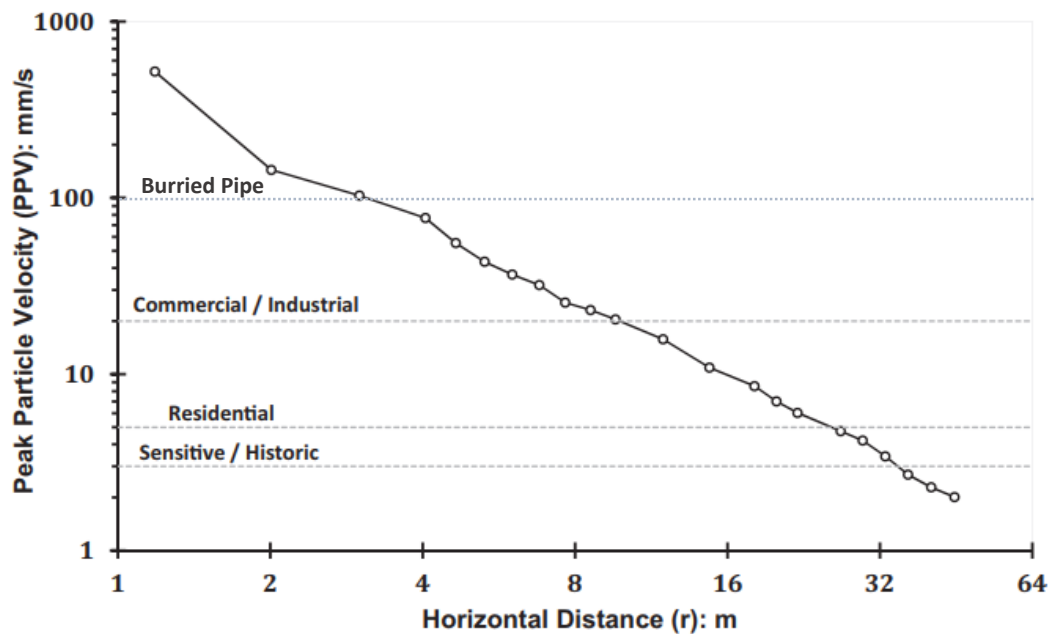
Tujuan utama dari analisis pile driving di lokasi adalah untuk mengetahui jarak aman, dimana getaran tanah diharapkan lebih rendah dari nilai pembatas yang direkomendasikan oleh standar DIN 4150-3. Agar tidak terjadi kerusakan struktural pada pipa gas, batasan getaran DIN 4150-3 dijelaskan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batasan Getaran pada Pipa Sesuai DIN 4150-3

Pipe Properties	PPV on the pipe (mm/s)
Steel welded	100
Concrete, reinforced concrete, metal flanged	80
Plastics	50

Dari Tabel 2.2, diketahui berdasarkan properties pipa gas dalam studi ini yang berupa pipa baja maka maksimum kecepatan getaran (komponen vertikal) yang diizinkan adalah  $PPV_{max} = 100$  mm/s.

Dalam hal batasan getaran untuk berbagai jenis bangunan, DIN 4150-3 menetapkan pipa baja memiliki batas tertinggi dibandingkan bangunan lainnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.7



Gambar 2.7 Grafik Batasan Getaran (DIN 4150-3, 2016)

- Percepatan Getaran Tanah ( $\alpha_{\max}$ )

Percepatan getaran tanah ( $\alpha_{\max}$ ) merupakan percepatan puncak muka tanah akibat getaran gempa yang terjadi. Pada penelitian ini penulis menggunakan data getaran tanah, data SPT dan data profil tanah untuk mencari percepatan getaran tanah. Percepatan getaran tanah dalam laporan ini berupa percepatan partikel tanah yang didapatkan dari hasil penurunan kecepatan partikel puncak (*Peak Particle Velocity*).

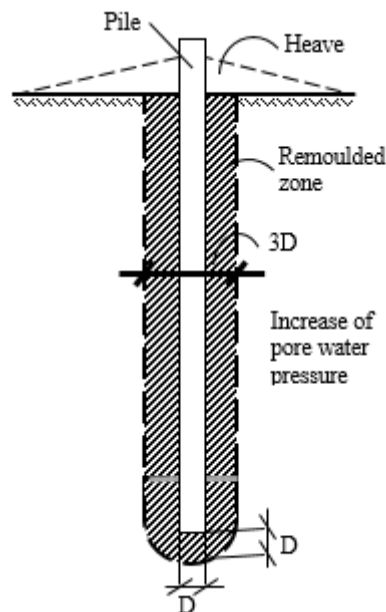
- Pengalaman Penelitian yang Relevan

Penelitian mengenai peningkatan tekanan air pori pernah dilakukan pada tanah berjenis lempung berpasir. Dari hasil pembacaan tes CPTU menyimpulkan bahwa semakin cepat proses pemancangan dilakukan maka peningkatan tekanan air pori semakin tinggi, namun jika proses pemancangan dilakukan dengan memberi jarak waktu pemancangan berikutnya, maka peningkatan air pori tidak terlalu besar akibat terjadinya disipasi (Olivia, V. dkk., 2016).

Broms (1981) menyatakan bahwa, ketika tiang dipancang ke dalam tanah, ada area di sekitar tiang akan mengalami disturbance dan *remolding*.

Tiang tersebut mendesak tanah di sekitar tiang, memaksa tanah berpindah ke arah samping tiang. Displacement dari tanah yang mulanya mengisi tempat tiang pancang tersebut sebagian akan menyembul ke atas dan menimbulkan heave seperti terlihat pada Gambar 2.8, di mana sisanya akan menstimulasi tekanan air pori negatif pada tanah sehingga akan berujung pada turunnya kekuatan geser tanah. Pada Gambar 2.8 tersebut juga dijelaskan bahwa *remoulded zone* akibat pemancangan terjadi hingga radius  $1D$  dari tiang pancang.

Peningkatan tekanan air pori tercatat hingga 35% - 40% lebih besar dari *overburden pressure*. Ternyata ditemukan bahwa setelah pemancangan, kekuatan geser tanah turun rata-rata sebesar 15% jika diuji dengan menggunakan *Vane Shear Test*, sedangkan jika menggunakan pengujian *Swedish Fall Cone Test*, penurunan kekuatan geser dapat mencapai 30%.



Gambar 2.8 Hubungan antara Diameter dengan Jarak Tanah *Disturbed*  
(Broms, 1981)

Randolph et al. (1979) menyatakan bahwa pemancangan akan mengubah tegangan pada tanah secara signifikan hingga pada jarak 20 kali radius ( $10D$ ). Namun menurut Meinata L. E. dkk. (2010), penurunan kekuatan geser akibat pemancangan bisa mencapai 100% pada area antara dinding tiang hingga 1,5 sampai 2 kali diameter tiang.

#### 2.2.4 Beban Siklis

Beban impak akibat pemancangan tiang termasuk dalam beban siklis (dinamis). Gelombang getaran dari sumber getaran berbentuk harmonik dan bersifat sementara (*transient*) seperti beban gempa. Pasir lepas yang jenuh air akan lebih mudah mencair (*liquefied*) akibat beban siklik, bila dibandingkan terhadap lempung yang tidak mudah mencair, karena tahananannya yang lebih besar terhadap beban siklik (Yasuhara et al., 1992).

Beban Siklik pada umumnya dapat dibagi dalam dua bagian yaitu beban siklik-satu arah (*one-way cyclic loading*) dan beban siklik-dua arah (*two-way cyclic loading*). Beban siklik dapat mempunyai tegangan yang simetris maupun tidak simetris. Beban siklik-satu arah (*one-way cyclic loading*), hanya menimbulkan tegangan tekan saja tanpa tegangan tarik (stress reversal), kondisi ini banyak dijumpai akibat beban trafik seperti kendaraan bermotor, jalan kereta api, dan pemadatan. Beban siklik-dua arah (*two-way cyclic loading*), menimbulkan tegangan tekan dan tegangan tarik (stress reversal), kondisi ini banyak dijumpai akibat beban gempa, pondasi mesin, pemancangan tiang dan ledakan.

Deformasi selama pembebanan siklik akan tergantung pada kepadatan tanah, besar dan durasi beban siklik, serta jumlah pembalikan tegangan geser. Jika pembalikan tegangan (*stress reversal*) terjadi, tegangan geser yang efektif bisa mencapai nol, maka pencairan (*liquefaction*) siklik dapat terjadi.

$$\tau = \sigma' \tan \phi \quad (\text{Pers 2.2})$$

Dengan,

$$\tau = \text{Tegangan geser tanah (N/m}^2\text{)}$$

$$\sigma' = \text{Tegangan efektif (N/m}^2\text{)}$$

$$\phi = \text{Sudut geser}$$

Istilah pembebanan siklik menyarankan sistem pembebanan yang menunjukkan tingkat keteraturan baik dalam besarnya dan frekuensinya.

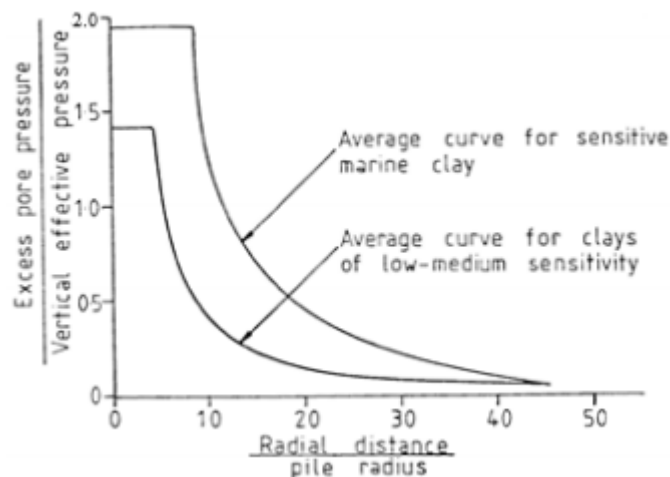
#### 2.2.5 Soil Liquefaction

Likuifaksi adalah perubahan sifat tanah menjadi seperti benda cair akibat peningkatan tekanan air pori yang menyebabkan tanah kehilangan

ketahanan gesernya. Likuifaksi terjadi di tanah jenuh, yaitu tanah dimana ruang antara partikel individu benar-benar penuh dengan air.

Peningkatan tekanan air ke titik dimana partikel tanah dapat dengan mudah bergerak terhadap satu sama lain umumnya dipicu oleh gempa, namun kegiatan konstruksi seperti pemancangan juga dapat menyebabkan peningkatan tekanan air. Dalam penelitian (Olivia, V. dkk., 2016) dijelaskan bahwa aktivitas pemancangan akan meningkatkan tekanan air pori dalam tanah di area sekitarnya.

Fenomena peningkatan tekanan air pori akibat pemancangan tiang telah disadari sejak lama. Poulos dan Davis (1980) telah menyampaikan ringkasan pengukuran peningkatan tekanan air pori pada jenis tanah lempung sensitif dan lempung yang kadar sensitifnya rendah hingga sedang.



Gambar 2.9 Grafik Pengaruh Peningkatan Tekanan Air Pori Akibat Pemancangan (Poulos dan Davis, 1980)

Gambar 2.9 menunjukkan bahwa untuk jenis lempung dengan sensitivitas rendah hingga sedang, pada jarak radial dibawah 4 jari – jari tiang, peningkatan tekanan air porinya adalah konstan. Sedangkan pada lempung sensitif peningkatan tekanan air pori konstan dibawah 8 jari – jari tiang. Namun, setelah jarak radial dari 4 jari – jari tiang atau sekitar 8 jari – jari tiang, terjadi penurunan tekanan air pori yang besar.

Pada saat terjadi getaran, tekanan air pori tanah akan meningkat sehingga kontak antar partikel tanah akan menurun dan menyebabkan kuat



geser tanah akan turun. Fenomena ini dapat menyebabkan penurunan tanah (*settlement*) dan kerusakan struktur pada permukaan tanah.

Tanah yang dianggap berpotensi tinggi mengalami likuifaksi adalah tanah pasir, meskipun tidak menutup kemungkinan tanah jenis lain dapat mengalami likuifaksi jika syaratnya terpenuhi. Tanah dengan partikel bulat dan seragam juga dianggap berpotensi mengalami likuifaksi karena memiliki volume pori yang tinggi.

Kriteria berbeda digunakan untuk penilaian kemungkinan likuifaksi di lokasi konstruksi. Konsistensi dengan batas getaran diterapkan untuk getaran tanah yang dihasilkan oleh pemancangan, nilai PPV digunakan sebagai ambang getaran untuk likuifaksi di tanah lempung, diketahui dari hasil analisis publikasi bahwa batas 10 cm/s (4 in/s) akan sesuai untuk penilaian bahaya *liquefaction* di tanah lempung, Svinkin (2008). Tidak seperti ledakan, sumber lain getaran konstruksi biasanya menghasilkan getaran tanah yang jauh lebih kecil yang berada di bawah ambang likuifaksi.

#### 2.2.6 Metode untuk Mengevaluasi Terjadinya *Soil Liquefaction*

Likuifaksi adalah suatu kejadian dimana tanah kehilangan kekuatan geser karena meningkatnya tegangan air pori akibat terjadinya beban siklik (beban gempa, ledakan, pemancangan tiang, dll). Analisis potensi likuifaksi ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (SF) yang diperoleh dengan membandingkan nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang merupakan ketahanan tanah untuk menahan *soil liquefaction* dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) yang merupakan tegangan geser siklik yang terjadi akibat gempa dibagi dengan tegangan efektif lain, likuifaksi akan terjadi untuk  $SF < 1$  (Jha dan Suzuki, 2008).

##### - **Cyclic Resistant Ratio (CRR)**

Nilai *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) merupakan nilai ketahanan suatu lapisan tanah terhadap tegangan *cyclic*. Nilai CRR dapat diperoleh dengan persamaan berikut (Seed dan Idriss, 1971):

$$CRR = C_N N \quad (\text{Pers 2.3})$$

Dengan,

$$C_N = (1 - 1,25 \log (\sigma_v' / 11,1))$$

Dengan,

$$\sigma_v' = \text{Tegangan vertikal efektif}$$

$$N = \text{Jumlah cycle versus magnitude}$$

Tabel 2.3 *Equivalent Number of Cycle Vs Vibration Magnitude* (Jardine, 2012)

M	N
0,006	0,333
0,008	0,533
0,012	0,654
0,027	1,333

#### - **Cyclic Stress Ratio (CSR)**

CSR merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa (getaran) dengan tegangan vertikal efektif di setiap lapisan. Nilai CSR pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa.

(Seed dan Idriss, 1971) menganggap nilai percepatan rata-rata akibat getaran adalah 0,65 dari percepatan maksimum, maka nilai tegangan geser rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\tau_{cyc} = 0,65 \frac{\alpha_{max}}{g} \sigma_v \quad (\text{Pers 2.4})$$

Karena kolom tanah tidak berperilaku seperti sebuah struktur yang kaku pada saat terjadi getaran (tanah dapat mengalami deformasi), maka Seed dan Idriss (1971) memasukkan sebuah faktor reduksi kedalaman,  $r_d$  terhadap persamaan tersebut sehingga:

$$\tau_{cyc} = 0,65 \frac{\alpha_{max}}{g} \sigma_v r_d \quad (\text{Pers 2.5})$$

Untuk mendapatkan nilai CSR maka kedua sisi dinormalisasi dengan tegangan vertikal efektif, sehingga dapat dituliskan:

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma_v'} = 0,65 \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} r_d \quad (\text{Pers 2.6})$$

Dengan,

$$\alpha_{max} = \text{Percepatan maksimum akibat getaran (m/s}^2\text{)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi bumi (m/s}^2\text{)}$$

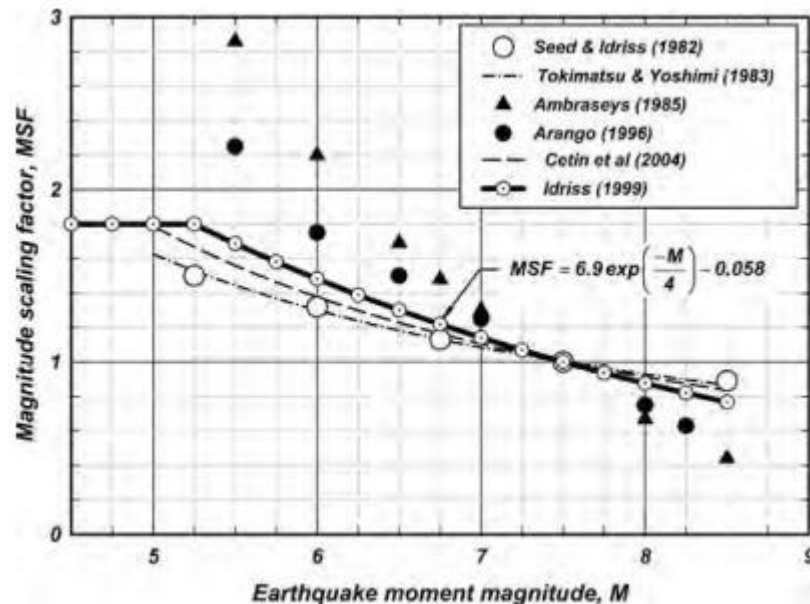
$rd$  = Faktor reduksi terhadap tegangan  
 $\sigma_v$  = Tegangan vertikal total (N/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma_v'$  = Tegangan vertikal efektif (N/m<sup>2</sup>)  
 $\sigma_v' = \sigma_v - u_w$   
 $u_w = H \times \gamma_w$   
 $u_w$  = Tekanan air pori  
 $H$  = Kedalaman (m)  
 $\gamma_w$  = Berat volume air (N/m<sup>3</sup>)

Pada dasarnya rumus CSR tersebut berlaku untuk getaran akibat gempa dengan magnitude 7,5. Menurut Seed dan Idriss (1982), untuk getaran dengan magnitude tidak sama dengan 7,5 maka diperlukan faktor koreksi MSF (*Magnitude Scalling Factor*) terhadap persamaan diatas menjadi,

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma'} = 0,65 \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \frac{rd}{MSF} \quad (\text{Pers 2.8})$$

Besarnya MSF dapat dicari dengan persamaan berikut (Idriss dan Boulanger 2008):

$$MSF = 6,9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0,058 \quad (\text{Pers 2.9})$$

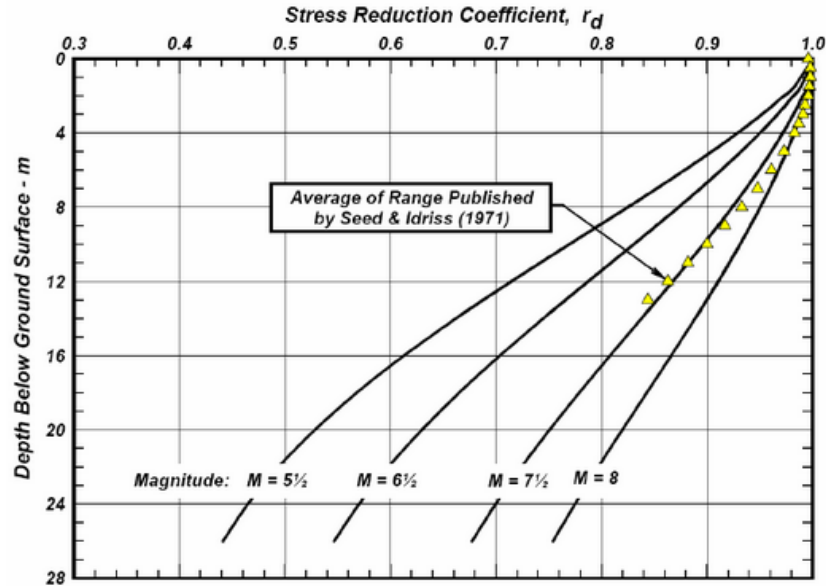


Gambar 2.10 *Magnitude Scalling Factor* (Idriss dan Boulanger, 2008)

Gambar 2.10 menjelaskan *magnitude scalling factor* yang dikembangkan peneliti untuk mengoreksi persamaan CSR yang memiliki magnitude 7,5.

- **Faktor Reduksi (rd)**

Faktor reduksi merupakan nilai yang dapat mengurangi tegangan di dalam tanah. Menurut Seed dan Idriss (1971) besar dari nilai reduksi tanah berdasarkan pada kedalamannya, dimana semakin jauh ke dalam tanah maka faktor reduksi akan semakin kecil seperti yang terlihat dalam Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Grafik Faktor Reduksi, rd (Seed dan Idriss, 1971)

Nilai rd dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini:

$$rd = \frac{(1 - 0,4113 z^{0,5} + 0,04052z + 0,001753z^{1,5})}{(1 - 0,4177z^{0,5} + 0,05729z - 0,006205z^{1,5} + 0,00121z^2)} \quad (\text{Pers 2.10})$$

Dengan z merupakan kedalaman dibawah permukaan tanah (meter).

Nilai rd akan sangat mempengaruhi besarnya nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) pada suatu lapisan tanah. Semakin kecil nilai rd maka akan semakin kecil pula nilai CSR sehingga potensi terjadinya likuifaksi juga akan mengecil.

### 2.2.7 Kegagalan Jaringan Pipa Akibat *Soil liquefaction*

Peristiwa *soil liquefaction* umumnya diikuti fenomena penurunan tanah, sehingga sangat penting untuk mengetahui kedalaman penurunan tanah yang terjadi. Hubungan antara parameter B dan kedalaman maksimum penurunan tanah akibat *soil liquefaction* dapat diprediksi dengan persamaan berikut (Jeng dan Seymour, 2007):

$$B = \frac{(1+2K_0)\gamma' c_v \lambda^2}{6A} \quad (\text{Pers 2.11})$$

Dengan,

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (\text{Pers 2.12})$$

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_w \quad (\text{Pers 2.13})$$

$$C_v = \frac{2GK(1-\nu)}{\gamma_w(1-2\nu)} \quad (\text{Pers 2.14})$$

$$\lambda = \frac{k}{\beta} = \frac{2\pi}{\beta L} \quad (\text{Pers 2.15})$$

Serta

$$A = \frac{(1+2K_o)\gamma'}{3T} \left( \frac{3P_b k}{\alpha(1+2K_o)\gamma'} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (\text{Pers 2.16})$$

dan

$$P_b = \frac{(\gamma_w)H}{2 \cosh(kd)} \quad (\text{Pers 2.17})$$

Dengan

$\gamma_{\text{sat}}$  = Berat volume jenuh air (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_d$  = Berat volume kering (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = Berat volume air (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$  = Berat volume tanah efektif (N/m<sup>3</sup>)

$H$  = Tinggi muka air (m)

$K_o$  = Koefisien tekanan lateral tanah

$\phi$  = Sudut geser tanah

$C_v$  = Koefisien konsolidasi (m<sup>2</sup>/s)

$G$  = Modulus geser (N/m<sup>2</sup>)

$K$  = Permeabilitas tanah (m/s)

$T$  = Periode gelombang (s)

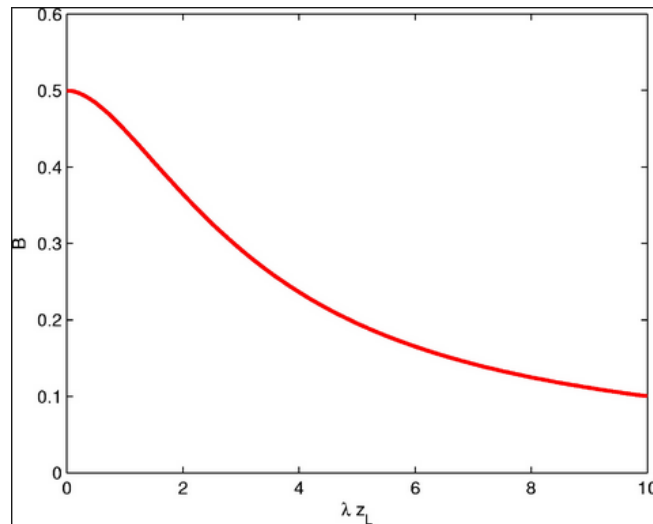
$\nu$  = Poisson's ratio

$k$  = Angka gelombang

$a$  dan  $\beta$  = Konstanta empiris fungsi densitas relative

$P_b$  = Amplitudo tekanan gelombang dinamik (m)

Kedalaman maksimum penurunan tanah akibat *soil liquefaction*, dapat diketahui melalui grafik hubungan antara, parameter  $B$  dan kedalaman maksimum penurunan tanah ( $z_L$ ) yang ditunjukkan dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Grafik Distribusi Kedalaman Maksimum ( $z_L$ ) & Parameter B  
(Jeng dan Seymour, 2007)

Kegagalan jaringan pipa yang diakibatkan oleh terjadinya fenomena *soil liquefaction*, berawal dari terjadinya penurunan tanah yang disebabkan oleh hilangnya kekuatan serta kekakuan tanah secara tiba-tiba. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya perubahan tegangan-tegangan yang bekerja pada pipa, yang kemudian dapat menyebabkan kegagalan berupa *buckling* pada jaringan pipa tersebut. Untuk analisis keandalan akibat *soil liquefaction* ini, Jha dan Suzuki (2008) memberikan sebuah persamaan peluang kegagalan sebagai berikut:

$$P_f = [CSR \geq CRR] \quad (\text{Pers 2.18})$$

Lebih lanjut, Jha dan Suzuki (2008) juga memberikan persamaan moda kegagalan (MK) untuk menghitung analisis keandalan dari sebuah sistem perpipaan yang mengalami kegagalan akibat *soil liquefaction* adalah sebagai berikut:

$$g(x) = CRR - CSR \quad (\text{Pers 2.19})$$

Dengan,

$$CRR = \text{Cyclic Resistance Ratio}$$

$$CSR = \text{Cyclic Stress Ratio}$$

Sistem diketahui gagal jika  $g(x) < 0$  dan dinyatakan berhasil jika  $g(x) > 0$  dan bila  $g(x) = 0$  maka sistem dinyatakan *failure surface* (Rosyid, 2007). Variabel acak dasar terdiri dari variabel fisik yang menggambarkan ketidakpastian.

#### 2.2.8 Penurunan Tanah

Istilah penurunan menunjukkan amblesnya suatu bangunan akibat kompresi dan deformasi lapisan tanah di bawah bangunan. Penurunan (*settlement*) akan terjadi jika suatu lapisan tanah mengalami pembebanan. Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah. Penurunan juga dipengaruhi oleh sebaran tanah lunak atau lempung yang terdapat di bawah permukaan pada dataran aluvial.

Penurunan akibat beban adalah jumlah total penurunan segera (*immediate settlement*) dan penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*). Secara umum, penurunan pada tanah akibat beban yang bekerja dapat diklasifikasikan dalam dua jenis penurunan, yaitu:

- a. Penurunan seketika (*immediate settlement*), yaitu penurunan yang langsung terjadi begitu pembebanan bekerja atau dilaksanakan, diakibatkan dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air, tanpa adanya perubahan kadar air. Umumnya, penurunan ini diturunkan dari teori elastisitas. *Immediate settlement* ini biasanya terjadi selama proses konstruksi berlangsung, biasanya terjadi berkisar antara 0 – 7 hari dan terjadi pada tanah lanau, pasir dan tanah liat yang mempunyai  $S_r$  (derajat kejenuhan)  $< 90\%$ .
- b. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yaitu penurunan yang terjadi akibat perubahan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah karena beban yang bekerja pada tanah, besarnya penurunan ditentukan oleh waktu pembebanan. Terjadi pada tanah jenuh ( $S_r = 100\%$ ) atau yang mendekati jenuh ( $S_r = 90\% - 100\%$ ) atau pada tanah berbutir halus, yang mempunyai harga  $k \leq 10^{-6}$  m/s.

- ***Settlement di Tanah Lempung***

Pemancangan tiang di tanah liat berbeda dari pemancangan di pasir. Penetrasi tiang ke tanah liat menghasilkan peningkatan tekanan lateral, tekanan pori, dan naik turunnya permukaan tanah. Selama pemancangan, tekanan pori berlebih meningkat dengan setiap pile yang dipancang dan dapat mencapai nilai besar pada jarak jauh di luar area *pile group*. Kelebihan tekanan pori ini

dapat jauh lebih besar daripada tegangan efektif awal. Setelah pemancangan dan disipasi tekanan pori berlebih selesai terjadi, maka selanjutnya terjadi rekonsolidasi tanah dan permukaan tanah akan mengendap. *Settlement* tanah biasanya lebih besar dari pada *heave* selama *pile driving* karena kompresibilitas tanah meningkat secara signifikan oleh *remolding* tanah setelah pemasangan tiang (Burland dan Mitchell, 1989).

- **Dynamic Settlements**

Getaran tanah yang relatif kecil dapat menjadi penyebab *dynamic settlements* di tanah berpasir, sementara *displacement* tanah horizontal, dibandingkan dengan getaran, bisa menjadi penyebab *heave* dan *settlement* di tanah liat lunak dan medium (Svinkin, 2008). Berikut publikasi dengan informasi tentang tingkat getaran kritis yang dapat memicu *dynamic settlements*:

- Svinkin (2008) menyatakan bahwa, getaran tanah dengan PPV 20 hingga 40 kali lebih kecil dari 100 mm/s (4 in/s) mungkin menjadi penyebab *dynamic settlement* di tanah granular yang rentan (lempung memberikan ketahanan yang lebih besar dibanding tanah granular).
- Lacy dan Gould (1985) menganalisis 19 kasus *settlements* dari pile driven yang sebagian besar merupakan *impact hammer* di pasir bersih berukuran tunggal dengan kepadatan relatif kurang dari 50% hingga 55%. Lacy dan Gould (1985) menemukan bahwa PPV 2,5 mm/s (0,098 in/s) bisa dianggap sebagai ambang *settlements* yang signifikan di lokasi-lokasi pasir yang diteliti.
- Dowding (1984) mengungkapkan bahwa batas PPV 2 mm/s (0,079 in /s) dapat memicu *dynamic settlement*, survei pra-konstruksi semua bangunan harus dilakukan dalam radius 120 m (400 kaki) dari aktivitas pile driven (konstruksi), atau pada jarak di mana getaran 2 mm/s (0,079 in/s) terjadi.
- *Florida Departemen of Tansportasion*, *Settlement* pondasi yang dihasilkan dari getaran tanah di tanah yang longgar dapat terjadi pada berbagai jarak dari sumber getaran.



### 2.2.9 Analisis Risiko

Risiko adalah ancaman terhadap kehidupan, properti atau keuntungan finansial akibat bahaya yang terjadi (Duffield, C. dan Trigunaryah, B., 1999). DNVGL-RP-F107 (2017), telah memberikan persamaan mengenai hubungan antara frekuensi dan konsekuensi sebagai berikut:

$$\text{Risiko} = \text{frekuensi} \times \text{konsekuensi} \quad (\text{Pers 2.20})$$

Dengan,

Risiko = Peluang kejadian suatu peristiwa yang dapat merugikan atau membahayakan sebuah proses yang akan, sedang atau telah terjadi.

Frekuensi = Kemungkinan terjadinya peristiwa persatuan waktu (tahun)

Konsekuensi = Besar tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh *hazard*

Risiko pada proyek konstruksi bagaimanapun tidak dapat dihilangkan tetapi dapat dikurangi atau ditransfer dari satu pihak ke pihak lainnya (Kangari, 1995). Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh risiko yang mungkin terjadi pada pipa gas akibat pembangunan *flyover* di dekatnya, maka dilakukan penilaian risiko atau *risk assessment*.

*Risk assessment* adalah aktivitas manajemen risiko, mengidentifikasi, mengevaluasi dan mengukur risiko serta pengaruhnya terhadap lingkungan. *Risk assessment* dapat disebut juga sebagai metode yang sistematis untuk menentukan apakah suatu kegiatan mempunyai risiko yang dapat diterima atau tidak. Berikut beberapa pengertian dalam *risk assessment*:

- *Hazard* yaitu kemungkinan bahaya atau potensi bahaya dan kejadian yang tidak diharapkan
- *Event* yaitu hubungan antara kejadian dan akibat, kemungkinan tingkat kerusakan yang tergantung pada kejadian
- *Risk* yaitu hasil perkalian dari frekuensi kejadian yang diantisipasi dan konsekuensi dari kejadiannya.

Berikut merupakan langkah-langkah dalam analisis risiko:

#### 1. *Hazard identification*

Hazard adalah suatu keadaan yang bersifat kualitatif yang berpengaruh besar terhadap frekuensi kemungkinan terjadinya kerugian, ataupun konsekuensi

besarnya jumlah dari kerugian yang mungkin terjadi. Sedangkan identifikasi *hazard* adalah proses mengenali bahaya yang mungkin terjadi. Identifikasi tersebut terkait dengan bahaya yang ditimbulkan, penyebab dari bahaya tersebut dan juga dampak yang ditimbulkan dari bahaya tersebut. Dalam tugas akhir ini *hazard* yang dimaksud adalah terjadinya kegagalan pipa akibat dari proses pemancangan pondasi *flyover* Teluk Lamong.

## 2. Menentukan Besarnya Frekuensi Kejadian

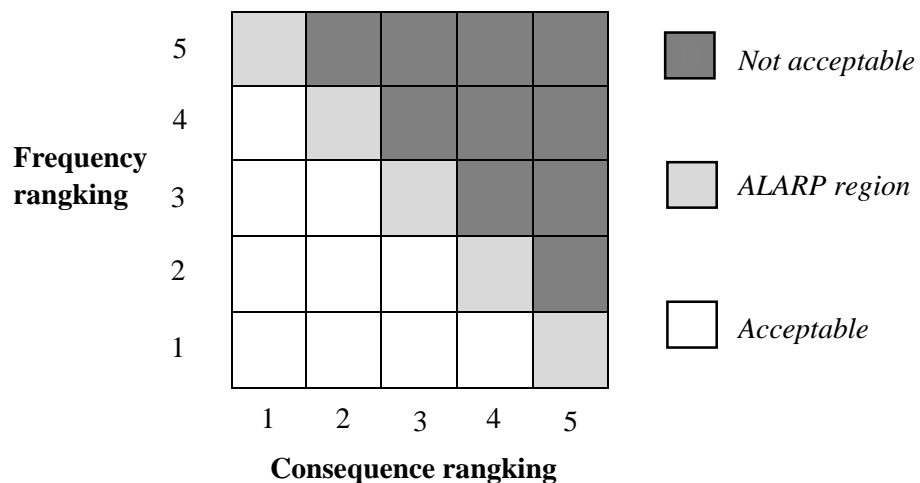
Perhitungan frekuensi dilakukan berdasarkan data dari perusahaan terkait dan literatur *scientific research*. Untuk mengestimasi frekuensi atau peluang kegagalan pada jaringan pipa akibat *soil liquefaction*, dalam penelitian ini digunakan simulasi monte carlo.

## 3. Menentukan Besarnya Konsekuensi Dari Kejadian

Konsekuensi bisa didapatkan dengan perhitungan analitis (matematis) berdasarkan data-data mengenai objek yang akan dihitung konsekuensinya, serta data-data dari penyebab risikonya. Perhitungan konsekuensi harus berdasarkan standar yang resmi dan diakui oleh dunia internasional seperti: DNV, API, RBI, dll.

## 4. Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko dilakukan dengan matriks risiko atau *risk matriks*. Matriks risiko pada standar DNVGL-RP-F107 dijelaskan dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Matriks Risiko (DNVGL-RP-F107, 2017)

Gambar 2.13 memberikan pengertian daerah ALARP (*As Low As Reasonably Practicable*) sebagai perbatasan antara risiko yang dapat diterima dan tidak, tetapi masih dapat diterima dan merupakan batas minimal suatu risiko untuk dapat diterima. Jika risiko tidak dapat diterima, maka dapat dikurangi dengan:

- Mengurangi frekuensi
- Mengurangi konsekuensi
- Kombinasi pengurangan frekuensi dan konsekuensi (perhitungan pengurangan frekuensi diprioritaskan sebelum pengurangan konsekuensi).

Tabel 2.4 Kriteria Rangking Frekuensi (DNVGL-RP-F107, 2017)

Category	Description	Annual Frequency
1	So Low frequency that event considered negligible	$< 10^{-5}$
2	Event rarely expected to occur	$10^{-4} > 10^{-5}$
3	Event individually not expected to happen, but when summarised over a large number of pipeline have the credibility to happen once year	$10^{-3} > 10^{-4}$
4	Event individually may be expected to occur during lifetime of pipeline	$10^{-2} > 10^{-3}$
5	Event individually may be expected to occur more than once during lifetime	$> 10^{-2}$

Tabel 2.5 Kriteria Rangking Konsekuensi (DNVGL-RP-F107, 2017)

Rangking	Maximum Combined Strees	Description
1	$< 0,9$ SMYS	No Damage
2	$0,9$ SMYS - SMYS	Minor Damage
3	SMYS - SMTS	Minor Damage
4	SMTS - $1,1$ SMTS	Major Damage
5	$> 1,1$ SMTS	Rupture

Cooper, D., et al. (2005) menjelaskan, tujuan dari perlakuan risiko adalah untuk menentukan respon yang dapat dilakukan jika risiko sudah teridentifikasi. Perlakuan risiko mengubah analisis awal menjadi aksi nyata untuk mengurangi risiko.

Beberapa strategi untuk perlakuan risiko yang sering membantu dalam respon risiko yaitu:

- Pencegahan risiko (*Risk Prevention*)
- Mitigasi Dampak (*Impact Mitigation*)
- Membagi risiko (*Risk Sharing*)
- Asuransi (*Insurance*)
- Menyimpan risiko (*Risk Retention*)

#### 2.2.10 *Preliminary Hazard Analysis* (PHA)

Pengertian *Preliminary Hazard Analysis* (PHA) yaitu, metode untuk mengidentifikasi risiko dari suatu situasi/ peristiwa yang dapat mengganggu atau merusak aktivitas, fasilitas, atau sistem (Rausand, 2011).

Kegunaan dari metode PHA ini, yaitu:

- Digunakan sebagai metode awal untuk mengidentifikasi suatu risiko pada tahap awal suatu pekerjaan.
- Sebagai suatu alat bantu untuk menganalisis suatu risiko yang sudah diterapkan.

Proses dari metode ini yaitu memahami terlebih dahulu mengenai tujuan dari sistem yang akan di analisis, setelah itu pisahkan sistem yang sesuai dengan topik, dan proses yang terakhir yaitu mengidentifikasi risiko terkait dengan tujuan dari setiap sistem. Pengaplikasian dari metode ini, dapat digunakan untuk mengidentifikasi risiko, sedangkan untuk menganalisis dan mengevaluasi tidak dapat digunakan (Rausand, 2011).

Kelebihan metode ini yaitu dapat digunakan ketika informasi yang tersedia masih minim/ terbatas serta potensi risiko/ bahaya telah dipertimbangkan sedari dini dalam perancangan/ aktivitas, fasilitas, maupun sistem. Sedangkan kekurangan dari metode ini, informasi yang didapat masih belum detail dan lengkap, karena informasi yang didapat hanya pada keterangan di awal saja. Keluaran dari metode PHA ini adalah register/ daftar risiko awal yang dapat dikembangkan dalam proses analisis selanjutnya.

### 2.2.11 Simulasi Monte Carlo

Monte Carlo adalah sebuah simulasi untuk menentukan angka acak dari data sampel (variabel atau parameter) dengan distribusi peluang tertentu, misalnya berdasarkan fungsi kerapatan peluang tiap-tiap variabel tersebut. Tujuan simulasi ini adalah untuk menemukan nilai yang mendekati nilai sesungguhnya atau nilai yang akan terjadi berdasarkan distribusi dari data sampling.

Respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan fungsi kinerja dari sistem tersebut. Perhitungan respon atau kinerja sistem dihitung berdasarkan fungsi deterministik untuk suatu set nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut, sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data, dengan analisis statistik dapat dilakukan untuk menentukan nilai rata-rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respon atau kinerja sistem tersebut (Rafika, 2009).

Unsur pokok yang diperlukan dalam simulasi monte carlo adalah sebuah *Random Number Generated* (RNG), RNG ini digunakan untuk membantu proses sampling numerik dalam praktek teknis simulasi monte carlo. Simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubah acak berdasarkan distribusi peluangnya, distribusi peluang perubah acak tersebut dapat diketahui atau dapat diasumsikan. Sampel yang telah diambil kemudian dipakai sebagai masukan ke dalam persamaan fungsi kinerja  $FK(x)$ , dengan harga  $FK(x)$  kemudian dihitung (Rafika, 2009).

Untuk suatu fungsi kinerja tertentu, misalnya setiap kali  $FK(x) < 0$  maka sistem/komponen yang ditinjau dianggap gagal. Jika jumlah sampel tersebut adalah  $N$  (atau replikasi sejumlah  $N$ ) maka dapat dicatat kejadian  $FK(x) < 0$  sejumlah  $n$  kali. Dengan demikian, peluang kegagalan ( $P_g$ ) sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dengan sampel atau replikasi:

$$P_g = n/N \quad (\text{Pers 2.21})$$

Persoalan utama dalam simulasi monte carlo adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan RNG menjadi besaran fisis

yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (fkp)-nya. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp uniform, sedangkan perubah dasar dalam  $FK(x)$  seringkali tidak demikian (misalnya terdistribusi secara normal, lognormal, dan sebagainya). RNG umumnya berbentuk linear congruential generator yang mengeluarkan suatu deretan bilangan cacah (integer)  $I_1, I_2, I_3$ .

Transformasi bilangan acak menjadi nilai perubah acak juga dapat dilakukan secara numerik dengan prodesur intuitif berikut:

- Untuk XP dengan fungsi kerapatan peluang yang diketahui fkp, bagilah rentang XP menjadi  $I$  interval yang sama sepanjang  $dx$ .
- Hitung luas tiap pias (ini akan menghasilkan peluang XP memiliki harga dalam interval  $i$ , yaitu sebesar  $P_i$ ) dengan mengalikan interval  $dx$  dengan tinggi fkp pada  $X_i$ . Untuk setiap  $aP$ , yang keluar dari RNG maka  $aP$  dibandingkan dengan batas interval yang sesuai. Apabila  $P_i < aP < P_{i+1}$  maka  $aP$  “dipahami” (ditransformasikan) sebagai  $X_i$ .

Disamping itu, transformasi dari bilangan acak ke nilai perubah acak dapat dilakukan secara analitik berdasarkan fungsi distribusi kumulatif perubah acak tersebut. Oleh karena fungsi distribusi kumulatif (fdk) dari suatu perubah acak  $X$  merupakan fungsi kontinyu dan monotonik dari  $X$  maka nilai  $F_X(x)$  dapat dipakai sebagai alat transformasi dari nilai bilangan acak  $u$  menjadi nilai perubah acak  $x$  (Rafika, 2009).

#### 2.2.12 Estimasi Frekuensi Kejadian dan Konsekuensi Kejadian

Analisis risiko yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah untuk memahami bagaimana risiko dari sistem yang ditinjau dapat terjadi. Analisis yang dilakukan ini termasuk mengenali sumber bahaya yang ada, konsekuensi dari bahaya yang terjadi serta frekuensi dari kejadian-kejadian yang dapat dianggap membahayakan sistem yang ditinjau. Untuk itu, langkah pertama dalam mendeskripsikan bahaya yang ada adalah dengan cara menentukan probabilitas kegagalan sistem yang ditinjau akibat bahaya yang diasumsikan akan terjadi.

- **Frekuensi Kejadian**

Dalam tugas akhir ini, sistem yang ditinjau adalah pipa gas darat yang terkubur dibawah tanah (Jalur Pipa Gas Gresik- Semarang) dan bahaya yang diperkirakan akan menyebabkan kegagalan pada sistem tersebut adalah penurunan tanah yang disebabkan oleh peristiwa *soil liquefaction*. Persamaan untuk mengestimasi frekuensi kejadian adalah sebagai berikut:

$$F = P.N_k \quad (\text{Pers 2.22})$$

Namun karena perhitungan frekuensi yang dilakukan untuk menyelesaikan tugas akhir menggunakan metode monte carlo, maka persamaan untuk mengestimasi frekuensi kejadian menjadi (Rosyid, 2007):

$$F_k = P_g = n/N_k \quad (\text{Pers 2.23})$$

Dengan,

$F_k$  = Frekuensi kejadian

$P$  = Peluang kegagalan dari sistem

$P_g$  = Peluang gagal dari seluruh kejadian

$n$  = Jumlah kejadian gagal

$N_k$  = Jumlah seluruh kejadian

- **Konsekuensi Kejadian**

Konsekuensi yang dapat terjadi pada pipa, apabila penurunan tanah yang disebabkan oleh peristiwa *soil liquefaction* di dekat lokasi pemancangan terjadi adalah perubahan tegangan - tegangan pada sistem perpipaan tersebut. Perubahan tegangan - tegangan tersebut dapat menyebabkan *buckling* pada sistem perpipaan. Persamaan untuk mengetahui tegangan - tegangan yang diperkirakan akan terjadi yaitu (ASME B 31.8):

- **Tegangan Hoop**

Tegangan ijin hoop (*internal pressure*)

$$S = F \times E \times \text{SMYS psi (MPa)} \quad (\text{Pers 2.24})$$

Dengan,

$E$  = *Joint factor* (didapatkan dari Tabel 841.1.7-1 ASME B31.8)

$F$  = *Design factor*

$$\sigma_H = \frac{P_i D}{2t} \quad \text{psi (MPa)} \quad (\text{Pers 2.25})$$

- Tegangan longitudinal akibat tekanan internal (*restrained pipe*)  

$$\sigma_P = 0,3 \sigma_H \quad \text{psi (MPa)} \quad (\text{Pers 2.26})$$

- Tegangan longitudinal akibat ekspansi termal  

$$\sigma_T = E\alpha (T_1 - T_2) \text{ psi (MPa)} \quad (\text{Pers 2.27})$$

Dengan,

$E$  = Modulus elastis, psi (MPa), pada suhu kamar

$T_1$  = Temperatur desain, °F (°C)

$T_2$  = Temperatur operasi, °F (°C)

$\alpha$  = Koefisien thermal expansion 1/°F (1/°C)

- Tegangan Longitudinal akibat Moment Bending  

$$\sigma_B = M/Z \quad \text{Nm} \quad (\text{Pers 2.28})$$

Dengan,

$M$  = *Bending moment across pipe cross section, lb-in. (N.m)*

$Z$  = *Pipe section modulus, in<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>)*

- Tegangan Longitudinal akibat beban aksial  

$$\sigma_X = R/A \quad \text{psi (MPa)} \quad (\text{Pers 2.29})$$

Dengan,

$R$  = *External force axial component, lb (N)*

$A$  = *Pipe metal cross-sectional area, in<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)*

- Tegangan Total Longitudinal  

$$\sigma_L = \sigma_P + \sigma_T + \sigma_B + \sigma_X \quad (\text{Pers 2.30})$$

- *Combined Stress untuk Restrained Pipe*

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_L^2 - \sigma_L \sigma_H + \sigma_H^2} \quad (\text{Pers 2.31})$$

- Analisis gaya friksi tanah

$$f = v (Pc. Ac + Wp) L \quad (\text{Pers 2.32})$$

$$= v (-\gamma H. (\pi Do) + Mp.g) L$$



Dengan,

$P_c$  = Tekanan tanah yang bekerja pada pipa (MPa)

$A_c$  = Luas penampang segmen pipa (mm<sup>2</sup>/mm panjang)

$W_p$  = Berat pipa dan isinya (N/m)

Setelah dilakukan perhitungan dapat diketahui harga dari masing-masing tegangan, maka dapat diestimasi perangkingan berdasarkan tegangan kombinasi yang terjadi, sesuai dengan kriteria yang di syaratkan DNVGL-RP-F107.

- Perhitungan Tegangan Vertikal

Berat tanah yang terendam air disebut berat tanah efektif, sedangkan tegangan yang terjadi akibat berat tanah efektif di dalam tanah disebut tegangan efektif. Tegangan efektif merupakan tegangan yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah.

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{(1+e)} \quad (\text{Pers 2.33})$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G_s+e) \gamma_w}{(1+e)} \quad (\text{Pers 2.34})$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \quad (\text{Pers 2.35})$$

$$\sigma_v = H \gamma_{\text{sat}} \quad (\text{Pers 2.36})$$

$$u_w = H \gamma_w \quad (\text{Pers 2.37})$$

$$\sigma_v' = (H \gamma_d) + ((z-H) \gamma') \quad (\text{Pers 2.38})$$

Dengan,

$G_s$  = Spesific gravity

$\gamma_d$  = Berat volume tanah kering (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{\text{sat}}$  = Berat volume tanah jenuh air (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma'$  = Berat volume tanah efektif (N/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = Berat volume air (N/m<sup>3</sup>)

$H$  = Tinggi muka air diukur dari permukaan tanah dalam bidang (m)

$\sigma_v$  = Tegangan vertikal total (N/m<sup>2</sup>)

- $u_w$  = Tekanan air pori
- $\sigma_v'$  = Tegangan vertikal efektif (N/m<sup>2</sup>)
- $z$  = Kedalaman titik didalam tanah

Perhitungan tegangan vertikal tanah akan disajikan dalam lampiran.

### 2.2.13 Upheaval Buckling

#### a. Failure Modes of Upheaval Buckling

*Global buckling* pada jaringan pipa dapat diperlakukan sebagai *buckling bar* (pipa) dalam kompresi. *Global buckling* dapat terjadi baik ke bawah (*free span*), secara horizontal (tekuk lateral pada dasar laut) atau secara vertikal (seperti *upheaval buckling* pada jaringan pipa yang dikubur). *Local buckling* adalah deformasi besar dari penampang melintang pipa.

*Global buckling* merupakan respon terhadap gaya tekan akibat suhu dan tekanan yang tinggi, yang secara umum dapat mengurangi kapasitas axial pipa. *Global buckling* adalah respon beban bukan sebuah moda kegagalan, bagaimapun *global buckling* dapat mengakibatkan beberapa moda kegagalan seperti, *local buckling, fracture, fatigue, ratcheting, bursting*.

Selama beroperasi beban internal dan external pipa akan mengalami perubahan, meliputi perubahan: kenaikan tekanan dan temperatur fluida yang mengalir di dalamnya serta perubahan tekanan dari luar. Kenaikan temperatur tersebut membuat pipa mengalami pemanjangan (*elongation*) yang besarnya tergantung sifat mekanik material pipa. Kondisi pipa yang terkubur di dalam tanah membuat pipa tidak dapat mengalami elongasi karena ditahan oleh gaya friksi tanah dan berat timbunan tanah di atas pipa. Kombinasi *external* dan *internal load* operasional pipa seperti perbedaan temperatur, tekanan dan gaya friksi tanah akan menghasilkan gaya aksial tekan efektif pada pipa.

Jika saat instalasi pipa terjadi kesalahan atau ketidakrataan permukaan tanah tempat pipa diletakan, sehingga terjadi lekukan awal atau ketidaklurusan pipa, maka gaya aksial efektif pipa ini akan berubah menjadi gaya tekan vertikal pipa terhadap lapisan tanah di atasnya. Gaya vertikal pipa ini akan ditahan oleh berat tanah. Jika pipa tidak mampu menahan gaya vertikalnya, maka bagian pipa yg telah memiliki lekukan awal akan

cenderung bergerak ke atas mendorong timbunan tanah di atasnya. Pada akhirnya pipa akan mengalami *displacement* yang cukup besar atau munculnya sejumlah panjang bagian pipa yang telah melengkung, hingga keluar dari permukaan timbunan tanah seperti yang terlihat dalam Gambar 2.14. Fenomena pelengkungan pipa ini disebut dengan “*upheaval buckling*”



Gambar 2.14 *Upheaval Buckling* (Narodo, 2014)

b. Asal Mula *Buckling Force*

Gaya aksial yang efektif di dinding pipa umumnya disebabkan oleh tekanan internal dan gaya disebabkan oleh perbedaan suhu di dinding pipa. Gaya efektif di atas seluruh penampang pipa dapat dihitung dengan prosedur berikut:

$$\text{Axial force} = F_x = A_s E \varepsilon_x \quad (\text{Pers 2.39})$$

Dimana:

$$A_s = \pi(D_e^2 - D_i^2)/4 \quad (\text{Pers 2.40})$$

$$\varepsilon_x = \alpha_s \Delta T + \frac{1}{E} (\sigma_x - \nu (\sigma_h - \sigma_r)) \quad (\text{Pers 2.41})$$

$$\Delta T = T_p - T_a \quad (\text{Pers 2.42})$$

Dengan,

$$E = \text{Young's Modulus of Elasticity}$$

$$\varepsilon_x = \text{Axial Strain}$$

$$\alpha_s = \text{Linear coefficient of thermal expansion}$$

$$T_p = \text{Average product temperature}$$

$$T_a = \text{Ambient temperature}$$

$\sigma_x$  = Axial Stress

$\sigma_h$  = Hoop Stress

$\sigma_r$  = Radial Stress

Tegangan aksial karena tekanan internal dengan ujung pipa adalah:

$$\sigma_x = \frac{P_i D_i^2 - P_o D_e^2}{D_e^2 - D_i^2} \quad (\text{Pers 2.43})$$

Dengan menggunakan persamaan *Lame stress Distribution*, tegangan hoop dan radial sebagai berikut:

$$\sigma_h = \frac{P_i D_i^2 - P_o D_e^2 + \frac{D_i^2 D_e^2}{D^2} (P_i - P_o)}{D_e^2 - D_i^2} \quad (\text{Pers 2.44})$$

$$\sigma_r = \frac{P_i D_i^2 - P_o D_e^2 - \frac{D_i^2 D_e^2}{D^2} (P_i - P_o)}{D_e^2 - D_i^2} \quad (\text{Pers 2.45})$$

dengan,

D = Diameter pada point penting

Kemudian substitusi semua komponen tegangan dalam persamaan axial force:

$$F_x = \frac{\pi}{4} E \alpha_s (T_p - T_a) (D_e^2 - D_i^2) + \frac{\pi}{4} (1 - 2\nu) (P_i D_i^2 - P_o D_e^2)$$

Maka *buckling force* adalah total *buckling force* berdasarkan perbedaan temperatur di sepanjang pipa dan *buckling force* akibat perbedaan tekanan di sepanjang pipa:

$$F_x = F_T + F_P \quad (\text{Pers 2.46})$$

Dengan,

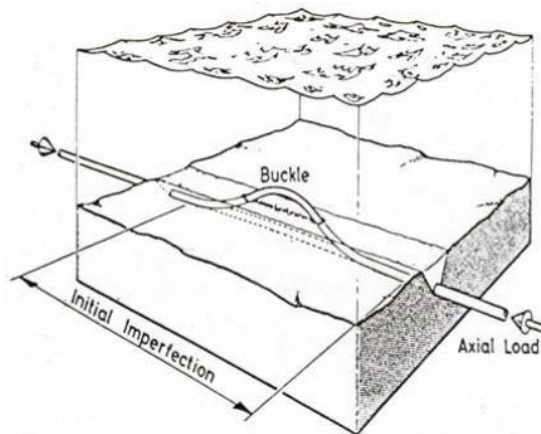
$$F_T = \frac{\pi}{4} E \alpha_s (T_p - T_a) (D_e^2 - D_i^2) \quad (\text{Pers 2.47})$$

$$F_P = \frac{\pi}{4} (1 - 2\nu) (P_i D_i^2 - P_o D_e^2) \quad (\text{Pers 2.48})$$

Berikut uraian proses terjadinya *upheaval buckling* (Narodo, 2014):

1. Saat instalasi pipa diletakan diatas tanah yang memiliki ketidakrataan permukaan tanah (*imperfection*), begitu pula dengan pipa yang ditanam dibawah tanah, akan ada kondisi permukaan tanah peletakan pipa yang tidak rata. Faktor lainnya yaitu, ketidaklurusan pipa saat instalasi atau memang rute pipa yang tidak lurus.

2. Ketika pipa sudah dipendam dan mulai beroperasi akan ada gaya aksial akibat perbedaan tekanan dan temperatur pada saat instalasi dan saat pipa beroperasi serta gaya aksial akibat tekanan fluida.
3. Kombinasi gaya aksial pipa, *imperfection* tanah dan ketidaklurusan pipa akan menginisiasi terjadinya *upheaval buckling* sehingga menyebabkan gaya aksial berubah menjadi gaya vertikal ke atas.
4. Gaya tekan vertikal ke atas akan ditahan oleh berat timbunan tanah di atas pipa dan berat pipa itu sendiri, namun jika tidak dapat tertahan maka pipa akan melengkung ke atas hingga keluar dari permukaan timbunan tanah diatas pipa.



Gambar 2.15 Ilustrasi Mekanisme *Upheaval Buckling* (Narodo, 2014)

Beban yang terlalu besar dapat menjadi faktor yang mempercepat terjadinya *upheaval buckling*, seperti beban axial dalam Gambar 2.15 diatas.

Interaksi antara pipa dan tanah juga mempengaruhi terjadinya *upheaval buckling*. Bagaimanapun untuk pipa terpendam jika tidak ada cukup tahanan yang melawan pergerakan *uplift* maka *upheaval buckling* akan terjadi. Dan peristiwa ini mungkin membawa pada kegagalan *ultimate* pipa seperti: runtuh (*collapse*), patah (*fracture*) atau *fatigue*.

Pada penelitian ini, ketidaksempurnaan awal *pipeline* tidak diperhitungkan sehingga membuat kekuatan kritis dari teorinya lebih konservatif daripada nilai kenyataannya. Untuk *buried pipe* arah *buckling* akan ke atas atau ke bawah dalam area *free span*. Beban siklis yang memengaruhi *buckling* mungkin membiarkan *buried pipe* untuk bergerak ke atas melewati lapisan penutup. Peristiwa tersebut dinamakan *upheaval creep*.

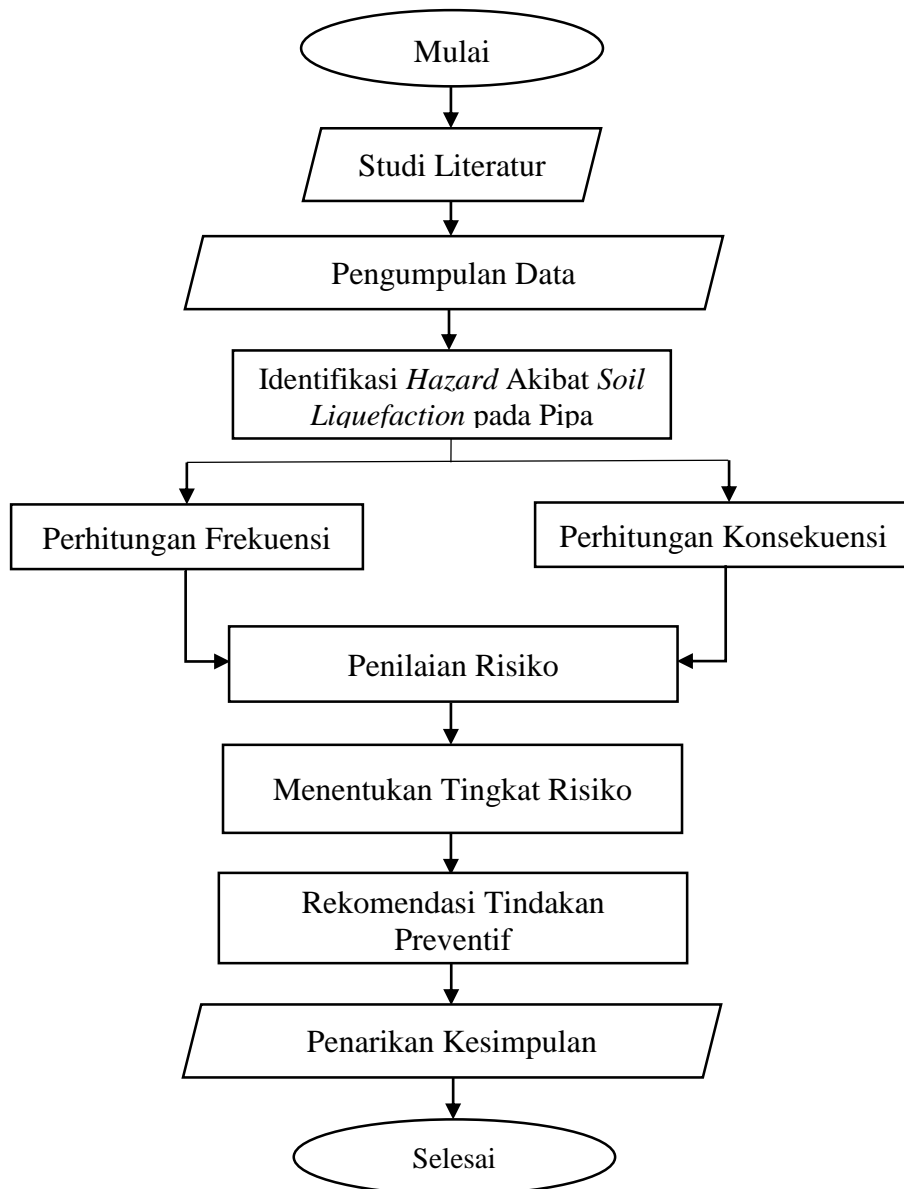
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### BAB III

#### METODE PENELITIAN

##### 3.1 Diagram Alir (*Flow Chart*)

Gambar 3.1 adalah diagram alir yang menjadi acuan penulis dalam melakukan analisis.



Gambar 3.1 Diagram Alir Analisis

## 3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian akan dilakukan sesuai dengan diagram alir yang diuraikan sebagai berikut:

### 3.3.1 Studi Literatur

Dalam proses studi literatur penulis mengumpulkan sumber referensi berupa buku, jurnal, Tugas Akhir, *Code/Standard*, terkait proses analisis risiko pembangunan struktur (*flyover*) yang berada di dekat pipa gas.

### 3.3.2 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data dikumpulkan penulis sebagai bahan untuk melakukan identifikasi risiko. Untuk menganalisis data digunakan metode deskriptif analisis yaitu penelitian yang berusaha untuk menuturkan pemecahan masalah yang ada sekarang berdasarkan data dengan menyajikan, menganalisis dan menginterpretasi. Pada tahap ini dilakukan studi lapangan atau observasi langsung ke lokasi rencana *crossing* pipa gas dengan *flyover* Teluk Lamong. Selain itu, pengumpulan data dilakukan berdasarkan dokumen dari perusahaan terkait dan studi literatur dengan sumber literatur berupa *scientific research*, jurnal internasional, *press release* perusahaan.

### 3.3.3 Identifikasi *Hazard* pada Pipa Akibat Pembangunan *Flyover*

Identifikasi *hazard* dimulai dengan identifikasi awal, untuk mengetahui *hazard* signifikan selama pembangunan *flyover* di atas pipa gas, menggunakan metode *Preliminary Hazard Analysis* (PHA). Selanjutnya dilakukan identifikasi lebih lanjut berupa:

- Perhitungan peluang kegagalan pipa gas, akibat *soil liquefaction* dan *settlement* sebagai dampak dari pemancangan tiang pondasi *flyover* di dekat pipa gas.
- Melakukan analisis terhadap konsekuensi yang timbul akibat *soil liquefaction* di lokasi pipa gas.

### 3.3.4 Penilaian Risiko

Penilaian risiko dilakukan melalui langkah berikut:

- Penilaian frekuensi dilakukan dengan metode monte carlo, yaitu berdasarkan perhitungan kejadian model probabilitas kegagalan. Dari perhitungan



tersebut akan di analisis berapa banyak frekuensi kegagalan yang akan terjadi pada semua kejadian, kemudian dilakukan penilaian ranking berdasarkan DNVGL-RP-F107.

- Penilaian konsekuensi, karena sistem yang ditinjau merupakan pipa terkubur di bawah tanah dengan kedalaman -1 meter, maka konsekuensi yang mungkin terjadi dari proses pembangunan pondasi *flyover* di dekat pipa gas yaitu getaran tanah yang terjadi saat pemancangan akan menyebabkan penurunan tanah yang dapat meningkatkan tegangan-tegangan di sekitar pipa gas. Tegangan tersebut diantaranya, tegangan hoop, tegangan longitudinal (akibat ekspansi termal, tekanan internal, beban aksial dan moment bending), serta tegangan kombinasi dari tegangan longitudinal dan tegangan hoop. Selanjutnya dilakukan perankingan konsekuensi berdasarkan DNVGL-RP-F107.

#### 3.3.5 Menentukan Tingkat Risiko

Penentuan tingkat risiko kegagalan pipa gas akibat proses pembangunan *flyover* Teluk Lamong, dilakukan dengan memasukan frekuensi atau peluang kejadian dan konsekuensi kejadian ke dalam matriks risiko yang mengacu pada standard DNVGL-RP-F107, kemudian dilakukan penilaian berdasarkan perkalian frekuensi dan konsekuensi. Hasil penilaian risiko dalam matriks tersebut kemudian ditentukan apakah dapat diterima atau tidak.

#### 3.3.6 Menentukan Tindakan Pencegahan (Rekomendasi Tindakan Pencegahan)

Tindakan pencegahan terhadap bahaya atau ancaman yang mungkin terjadi pada pipa gas, dilakukan dengan perbaikan untuk penyebab-penyebab yang dapat dikendalikan saat proses pemancangan tiang pondasi *flyover* Teluk Lamong.

#### 3.3.7 Penarikan Kesimpulan

Kesimpulan dibuat berdasarkan hasil dari proses penilaian yang telah dilakukan dengan begitu didapatkan jawaban atas permasalahan yang diteliti.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam tugas akhir didapatkan dari dokumen perusahaan terkait dan studi literatur berdasarkan *scientific research*, jurnal internasional, *press release* perusahaan serta pengamatan secara langsung di lokasi rencana crossing pipa gas dan pemancangan tiang pondasi *flyover*.

##### 4.1.1 Data Pipa Gas

Pipa gas yang ditinjau merupakan pipa gas milik PT. X, sebuah perusahaan *supply* yang mengalirkan gas dari Gresik ke Semarang. Jalur pipa gas *open-access* sepanjang 267,22 km itu, memiliki pipa berdiameter 28 inci dan bisa mengalirkan gas hingga 500 juta kaki kubik per hari (MMscfd).

Pipa gas tersebut ditanam pada kedalaman -1m di bawah permukaan tanah, dengan material properties dan dimensi seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Pipa yang Berada di Lokasi Studi

Parameter	Nilai			
Material	API 5L Grade X65			
Nominal Pipe Size (NPS)	28			
Pipe Schedule	20			
Outer Diameter (D <sub>o</sub> )	28	inch	0,7112	m
Inner Diameter (D <sub>i</sub> )	27	inch	0,6858	m
Wall Thickness	0,5	inch	0,0127	m
Design Temperature	200	°F	93	°C
Operating Temperature	140	°F	60	°C
Design Pressure	1670	psi	11,51424	MPa
Operating Pressure	500	psi	3,44738	MPa
SMYS	65000	psi	448	MPa
SMTS	77000	psi	530	MPa
Depth	39,37	inch	1	m
Young Modulus	28800000	psi	198	Gpa
Joint Factor	1			
Design Factor	0,72			
Poisson Ratio	0,3			
rho pipe	0,283	lb/in <sup>3</sup>	7833	kg/m <sup>3</sup>
rho fluida	0,003	lb/in <sup>3</sup>	98	kg/m <sup>3</sup>
Thermal coeffisien	0,000009	in/in/°F	0,000008	mm/mm/°C
Gravity	385,8	in/s <sup>2</sup>	9,8	m/s <sup>2</sup>
Pipeline Length	393,701	inch	10	m

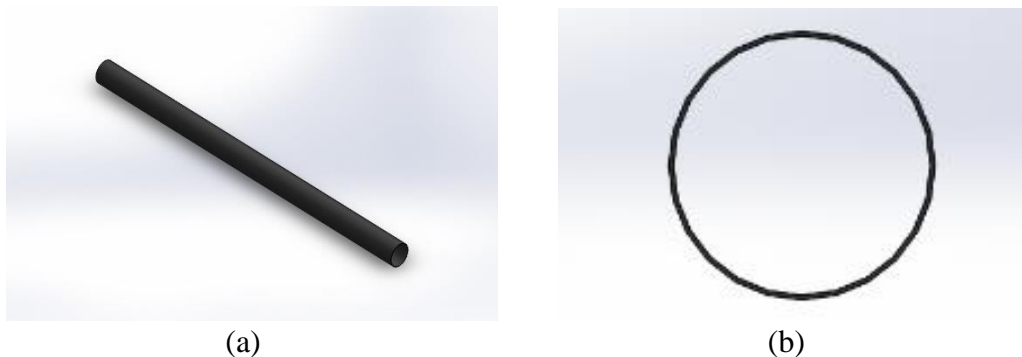
(Sumber: Dokumen PT. Pelabuhan Indonesia III)

Berikut merupakan hasil perhitungan properties pipa berdasarkan data perusahaan terkait.

Tabel 4.2 Properties pipa

Parameter	Properti pipa	Nilai	Satuan
Luas penampang dalam ( $A_i$ )	$A_i = \frac{\pi}{4} D_i^2$	615,752	$\text{in}^2$
Luas penampang luar ( $A_o$ )	$A_o = \frac{\pi}{4} D_o^2$	572,555	$\text{in}^2$
Luas penampang pipa ( $A$ )	$A = \frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2)$	43,197	$\text{in}^2$
Massa pipa	$M_p = A \times \rho \text{ steel}$	12,225	$\text{lb/in}^3$
Massa fluida	$M_f = A \times \rho \text{ fluida}$	0,0130	$\text{lb/in}^3$
Massa total	$M_{\text{total}} = M_p + M_f$	12,354	$\text{lb/in}^3$
Momen inersia pipa	$I = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$	4084,807	$\text{in}^4$
Section Modulus	$Z = \frac{\pi (D_o^4 - D_i^4)}{32 \times D_o}$	228749,179	$\text{in}^3$

Dari spesifikasi material yang ada, dapat dibuat pemodelan material menggunakan *software solidwork* sebagai berikut:



Gambar 4.1 Pipa Gas (a) Tampak Isometri, (b) Tampak Potongan Melintang

(Sumber: Dokumen Pribadi)

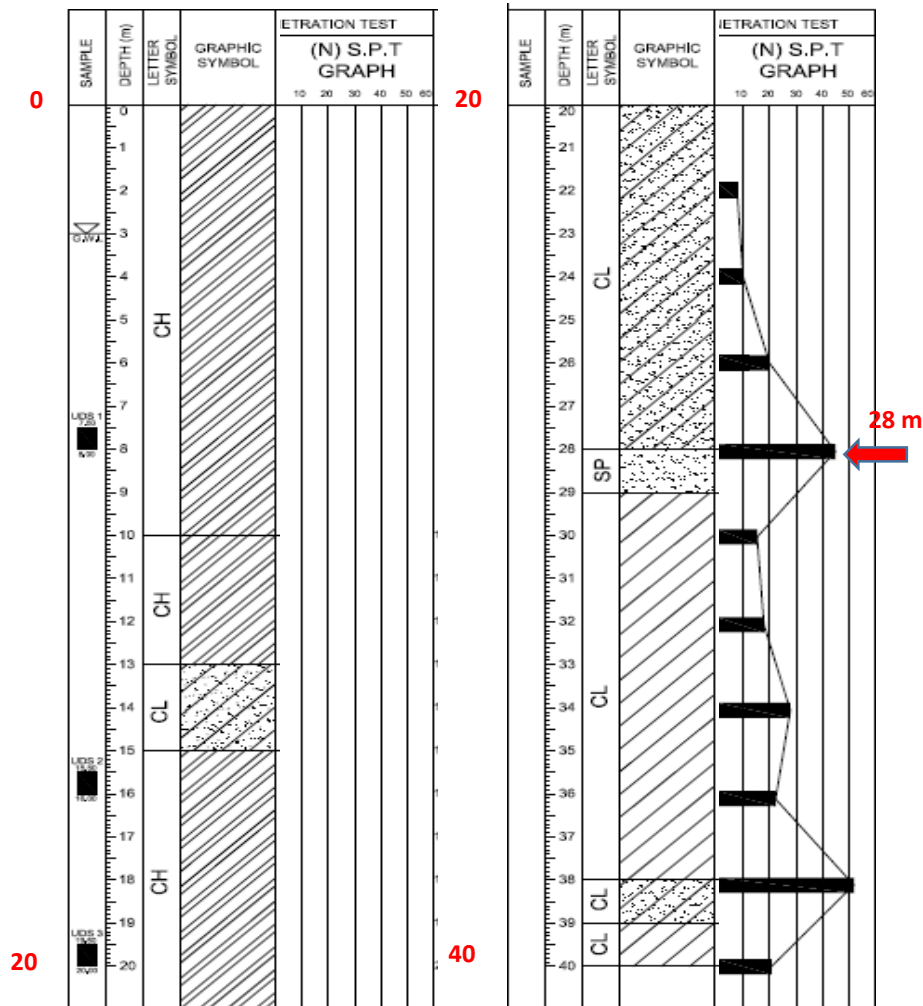
Gambar 4.1 merupakan gambaran pipa gas yang akan dianalisis dalam tugas akhir ini, lokasi *crossing* pipa gas yang akan ditinjau dengan *flyover* berada pada KP 62+ 300 sampai KP 62+ 630.

#### 4.1.2 Data Tanah

Tanah disekitar pipa memainkan peran yang sangat penting dalam hubungannya dengan tingkat getaran, jika itu tanah kohesif, semakin lembut tanah maka semakin besar perbedaan kepadatannya yang akan membawa

pada efek amplifikasi yang lebih besar. Jika material tanah granular, maka kemungkinan *liquefaction* menjadi lebih tinggi. Bagaimanapun interaksi tanah-pipa, diharapkan tanah tidak gagal, tetapi pergerakan tanah akan menghasilkan gaya geser pada hubungan tanah dan pipa.

Data tanah diambil di sekitar lokasi pipa. Typical data tanah yang digunakan sebagai input adalah seperti terlihat pada Gambar 4.2.



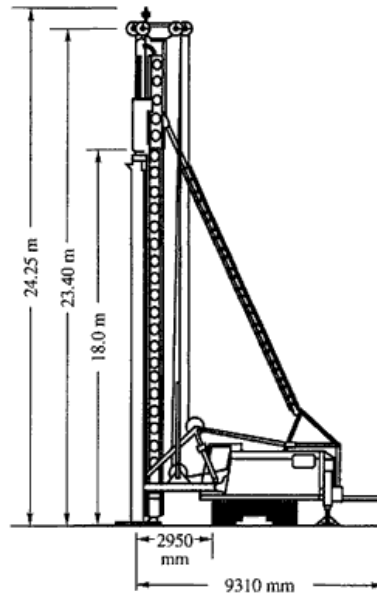
Gambar 4.2 Typical Data Tanah di Lokasi Studi.

Seperti terlihat pada Gambar 4.2, komposisi tanah di lokasi studi didominasi oleh tanah tambak dimana terdiri dari tanah lempung yang sangat lunak dan berair (*saturated soft clay*). Tanah lempung akan memberikan ketahanan yang lebih signifikan.

Nilai N-SPT cenderung rendah bisa dilihat pada Gambar 4.2, sampai pada kedalaman pengeboran sekitar 28m, baru terdapat lapisan tanah keras dengan N-SPT sekitar 45.

#### 4.1.3 Data Pile *Hammer*

Data ini diperlukan untuk melakukan simulasi terkait respon tanah akibat pekerjaan pemancangan. Diasumsikan *pile hammer* yang digunakan mempunyai berat 10 ton dengan konfigurasi ketinggian *hammer* seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Asumsi Ketinggian Jatuh *Hammer* pada Studi ini 18 m.

Dengan diketahuinya berat *hammer* serta tinggi jatuhnya maka bisa di dapatkan nilai energi *hammer* yang disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Energi *hammer*

Data <i>Hammer</i>		
Berat <i>hammer</i>	10000	kg
Gravitasi	9,8	m/s <sup>2</sup>
Tinggi jatuh <i>hammer</i>	18	m
Energi <i>Hammer</i>	180000	J

#### 4.1.4 Data Lokasi Crossing Pipa Gas dan *Flyover*

Proyek pembangunan *flyover* dari dan menuju Terminal Teluk Lamong akan melintasi pipa gas 28” di KP 62+ 450, Kelurahan Tambak Osowilangun, Kota Surabaya. Tabel 4.4 akan memberikan penjelasan lokasi *crossing* Pipa Gas dan *flyover* Teluk Lamong.

Tabel 4.4 Lokasi Test Pit *Crossing* Pipa Gas dengan *Flyover*

Titik Lokasi	Posisi	Koordinat	Kedalaman	Jarak terhadap as Rel
Titik 1	KP 62+440	7° 12' 58.8" S	1m	17,6 m
		112° 38' 59.2" E		
Titik 2	KP 62+490	7° 12' 57.3" S	1,3m	18,5 m
		112° 38' 58.1" E		

#### 4.2 Analisis Getaran Tanah Akibat Pemancangan

Perhitungan getaran tanah dilakukan dengan persamaan skala jarak berupa perhitungan *Peak Particle Velocity* yang selanjutnya disingkat PPV. Untuk menghitung kecepatan partikel maksimum puncak (PPV) getaran tanah yang diharapkan sebelum konstruksi, guna mengetahui jarak maximum terdekat yg diijinkan antara sumber getaran (*piled driven*) dan reseptor (struktur dalam kasus ini struktur pipa) agar tidak terjadi kegagalan struktur.

Penggunaan PPV dalam laporan ini didasari atas fakta bahwa perhitungan PPV adalah indikator potensi kerusakan yang paling diterima di lapangan. *Particle vibration velocity* (in/s, mm/s or m/s), merupakan bentuk deskripsi dari magnitudes pada getaran tanah. Magnitudes getaran tanah menurut DIN yang dipertimbangkan mampu menyebabkan kerusakan struktur bangunan (pipa gas) yaitu, diatas 100 mm/s.

Perhitungan antisipasi getaran tanah selama desain proyek dilakukan berdasarkan pada data berikut:

$$k = 1,5$$

$$n = 1$$

$$W_t = 180000 \text{ J}$$

$$D = 6 \text{ m}$$

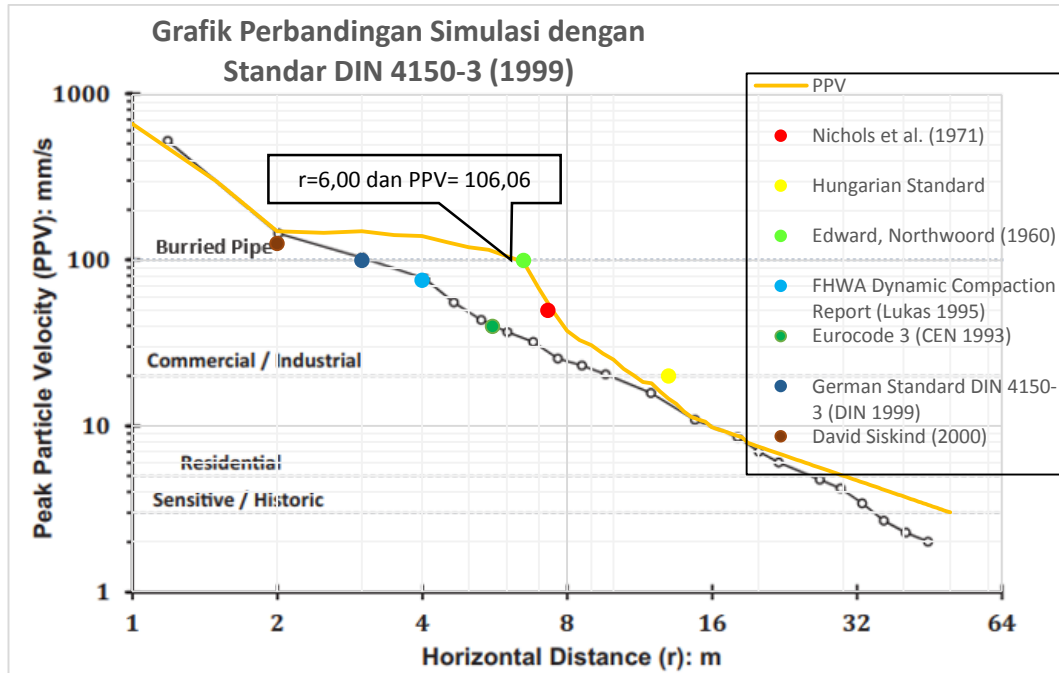
Dalam penelitian ini nilai konstanta k dan n mengacu pada parameter Attewell dan Farmer (1973), sehingga dapat dihitung nilai PPV sebagai berikut:

$$PPV = k \left[ \frac{D}{\sqrt{W_t}} \right]^{-n} = 106,066 \text{ mm/s}$$

Diketahui dari hasil perhitungan persamaan skala jarak bahwa, untuk pekerjaan pemancangan pondasi *flyover* Teluk Lamong yang di rencanakan berjarak 6 meter dari pipa gas akan menghasilkan getaran dengan PPV sebesar

106,066 mm/s, PPV ini melebihi batasan getaran pada pipa baja sesuai DIN 4150-3 yaitu sebesar 100 mm/s.

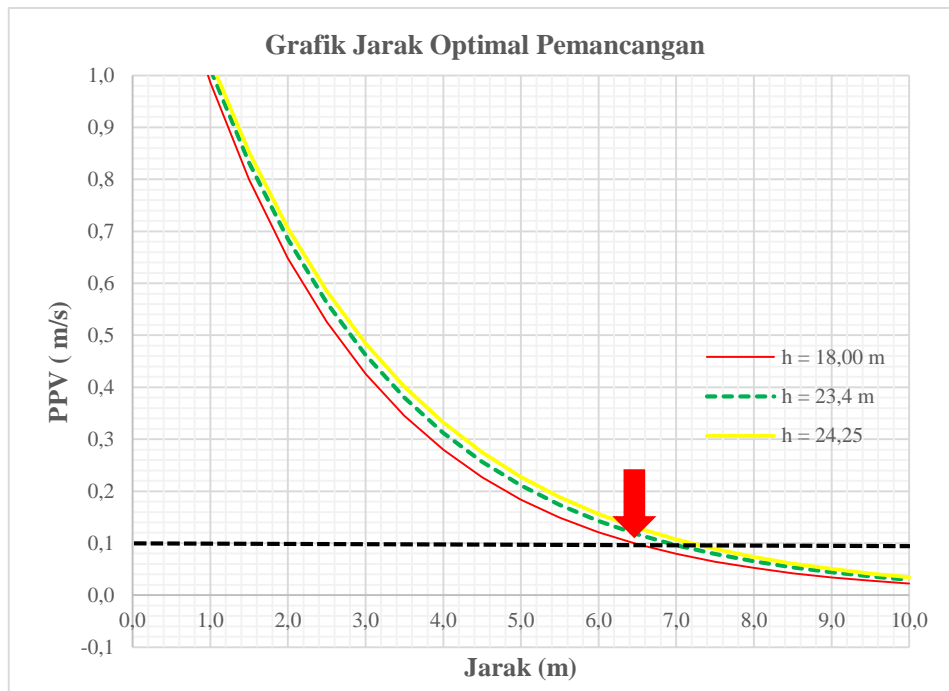
Berikut merupakan grafik PPV dengan tinggi jatuh *hammer* 18 m dan variasi jarak radial pipa gas dan pile pancang, dengan nilai k dan n tetap.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Simulasi dengan Code DIN 4150-3

Hasil perbandingan grafik logaritmik pada Gambar 4.4 menunjukkan bahwa, untuk keamanan pipa gas, pemancangan harus dilakukan dengan PPV dibawah 100 mm/s (DIN 4150-3), jika dilihat pada grafik PPV 100 mm/s berada pada jarak 6,5 m artinya jarak yang lebih jauh akan semakin mengurangi kemungkinan kerusakan pipa gas. Pergeseran jarak tentunya tidak dapat dilakukan mengingat rencana crossing dengan jarak 6 meter sudah merupakan bagian dari desain *flyover* sehingga untuk mengurangi getaran akan dilakukan alternatif pencegahan lain yang nantinya akan di bahas dalam bab tindakan preventif yang diterapkan untuk mengurangi risiko getaran.





Gambar 4.5 Hasil Simulasi Getaran Tanah Akibat Proses Pemancangan dengan Berat *Hammer* 10 Ton dan Variasi Tinggi Jatuh *Hammer*

Gambar 4.5 menjelaskan jarak aman pemancangan untuk keselamatan pipa gas. Panah merah diatas menunjukan bahwa jarak aman pemancangan dari pipa gas adalah 6,5 m dengan ketinggian jatuh *hammer* 18 m, Jarak ini diukur dari sisi terluar pipa hingga bagian tiang pancang yang terdekat pada pipa, dengan getaran tanah yang terjadi adalah sebesar 100 mm/s. Garis merah menunjukan tinggi jatuh hammer 18 m, hijau = 23,4 m dan kuning = 24,25m.

### 4.3 Identifikasi *Hazard*

Identifikasi *hazard* dimulai dengan memahami setiap bagian pekerjaan pembangunan *flyover* Teluk Lamong yang berhubungan dengan pipa gas. Penggunaan metode PHA sebagai identifikasi awal sendiri dikarenakan informasi yang tersedia masih minim/ terbatas (belum detail dan lengkap), karena informasi yang didapat hanya pada keterangan di awal saja. Keluaran dari metode PHA ini adalah daftar risiko awal yang dapat dikembangkan dalam proses identifikasi lebih lanjut.

Tabel 4.5 Identifikasi *Hazard* dengan PHA pada Pipa Gas terhadap Pembangunan  
Flyover Teluk Lamong

No.	Aktivitas/ Kegiatan	Potensi hazard pada Pipa Gas	Sebab/ Sumber	Dampak/ Konsekuensi Pipa Terpendam	Tingkat Kerentanan Terjadi	Alasan
1.	Pemancangan Tiang Pancang	Terpengaruh getaran proses pemancangan	Getaran hasil pemancangan dengan <i>diesel hammer</i>	Penurunan tanah akibat <i>liquefaction</i> sehingga pipa gas berpotensi mengalami <i>buckling</i>	Signifikan	Jarak pipa gas yang dekat ( $\pm$ 6m) dengan titik pemancangan membuat <i>hazard</i> ini sangat rentan terjadi
2.	Pengoperasian Crane Pancang	Tertimpa benda yang diangkat oleh crane pancang	Kerusakan peralatan/ kesalahan operator crane	Pipa mengalami bending	Kurang signifikan	Saat pengoperasian menjauhi posisi pipa gas (sesuai barikade) & menggunakan tenaga ahli
3.	Pengelasan Sambungan Tiang Pancang	Percikan api	( <i>Hot work</i> ) Percikan api las bersamaan dengan kebocoran pipa gas	Meledaknya pipa gas	Tidak signifikan	Karena sebelum dilakukan pengelasan, terlebih dahulu dilakukan pengecekan kondisi pipa gas (untuk mengetahui kebocoran)
4.	<i>Excavation/</i> Pekerjaan Galian	Terkena <i>bucket backhoe</i>	<i>Bucket backhoe</i> bersentuhan dengan pipa gas	Kebocoran pipa gas	Tidak signifikan	Karena sebelum proyek dimulai diberikan rambu/barikade posisi pipa gas
		Terpengaruh getaran proses penggalian	Getaran hasil penggalian dengan <i>backhoe</i>	Terkena beban siklis arah aksial sehingga berpotensi <i>buckling</i>	Kurang signifikan	Selama posisi galian tidak berada di dekat ( $\pm$ 6m) pipa gas, potensi kerentanan dianggap sedang

Tabel 4.6 Identifikasi *Hazard* dengan PHA pada Pipa Gas terhadap  
Pembangunan *Flyover* Teluk Lamong (Lanjutan)

No.	Aktivitas/ Kegiatan	Potensi hazard pada Pipa Gas	Sebab/ Sumber	Dampak/ Konsekuensi Pipa Terpendam	Tingkat Kerentanan Terjadi	Alasan
5.	<i>Erection Box/ PCU Girder</i>	Kejatuhan girder	Kerusakan peralatan/ kesalahan operator	Pipa gas mengalami tumbukan & berpotensi mengalami bending hingga kerusakan (bocor)	Tidak signifikan	Teknologi launcher membuat girder terpasang dengan baik/ Menggunakan tenaga ahli
			Terjadi sabotase pada peralatan/ material girder		Tidak signifikan	Lokasi proyek dijaga 24 jam
6.	Instalasi Rebar/ Pemasangan Besi Lantai Flyover	Besi beton terjatuh di lokasi <i>buried pipe</i>	( <i>Drop Object</i> ) Kegagalan pengangkatan besi beton	Pipa mengalami bending	Tidak signifikan	Karena sudah ada rangka girder yang menopang beban plat
7.	Pekerjaan <i>Formwork</i> / Bekisting lantai atas Flyover	Formwork terjatuh di lokasi <i>buried pipe</i>	( <i>Drop Object</i> ) Kegagalan pengangkatan material & alat bantu	Pipa mengalami bending	Tidak signifikan	Karena sudah ada rangka girder yang menopang beban plat
8.	Pekerjaan Pilar	Pipa gas kejatuhan material saat pekerjaan pilar berlangsung	Gempa Bumi	Tumbukan pada <i>buried pipe</i> yang dapat membuat pipa gas meledak	Tidak signifikan	Potensi gempa di lokasi pemancangan rendah
9.	Pengangkutan alat berat dan material	Alat angkut melintasi pipa gas	Beban alat angkut dan materialnya	Beban impact pada <i>buried pipe</i>	Tidak signifikan	Karena sebelum pemancangan dimulai diberikan rambu/barikade posisi pipa gas

Dari Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 diatas, diketahui *Hazard* signifikan yang diperkirakan akan terjadi pada jaringan pipa gas yaitu, getaran pemancangan tiang pondasi *flyover* Teluk Lamong dapat membuat tanah mengalami penurunan

sehingga berpengaruh pada tegangan pipa dan dapat berpotensi *buckling*. Identifikasi kemungkinan *hazard* pada pipa gas hanya dilakukan pada KP 62+300 sampai KP 62+630, yaitu pada radius 120 m dari lokasi pemancangan (Dowding, 1984).

Identifikasi *hazard* dilanjutkan dengan mengestimasi *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR) berdasarkan data tanah yang telah diperoleh. Setelah diketahui harga CRR dan CSR untuk masing-masing kilometer post pipa, langkah selanjutnya adalah menghitung *Safety Factor* dengan membagi nilai CRR pada Persamaan 2.3 dan CSR pada Persamaan 2.8.

Bila  $SF > 1$  maka dapat dipastikan bahwa tanah dimana jaringan pipa gas berada tidak mengalami fenomena *soil liquefaction* dan untuk selanjutnya bahaya *buckling* akibat penurunan tanah dipastikan tidak terjadi. Tetapi jika  $SF \leq 1$ , maka wilayah tersebut akan mengalami fenomena *soil liquefaction* dan kemungkinan *buckling* dapat terjadi.

#### 4.4 Pengolahan Data

##### 4.4.1 Perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

Berdasarkan data kedalaman pipa terpendam, ketinggian air tanah dan data pipa yang dimiliki oleh PT. X, dapat diketahui harga CRR untuk masing-masing KP dengan menggunakan Persamaan 2.3, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan CRR KP 62+300 – KP 62+630 ( $M = 0,006$ )

KP 62+	CRR	KP 62+	CRR	KP 62+	CRR
300	1,366	410	1,401	520	1,391
310	1,366	420	1,401	530	1,392
320	1,372	430	1,402	540	1,392
330	1,372	440	1,403	550	1,386
340	1,378	450	1,403	560	1,386
350	1,384	460	1,403	570	1,386
360	1,389	470	1,403	580	1,386
370	1,395	480	1,403	590	1,385
380	1,395	490	1,403	600	1,385
390	1,394	500	1,396	610	1,385
400	1,394	510	1,397	620	1,385
				630	1,385

Berdasarkan pada kategori magnitudo yang diberikan Seed dan Idriss (1971), diketahui bahwa harga CRR untuk KP 62+300 – KP 62+630 tidak akan terpengaruh oleh variasi perhitungan yang dilakukan, atau bisa dikatakan bahwa nilai dari CRR akan selalu tetap untuk variasi nilai percepatan getaran tanah,  $\alpha$  (baik untuk nilai  $\alpha_{\min}$ ,  $\alpha_{\max}$  dan  $\alpha_{\text{avg}}$ ).

Hasil nilai CRR yang kecil pada Tabel 4.7 disebabkan oleh rata-rata nilai N-SPT yang rendah karena dari analisis profil tanah di lokasi penelitian menunjukkan, tanah dominan lempung jenuh air.

#### 4.4.2 Perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

Setelah diketahui harga CRR dari masing-masing KP yang ditinjau, langkah selanjutnya adalah mengestimasi harga CSR dengan menggunakan Persamaan 2.8, serta berdasarkan variasi yang telah ditentukan sebelumnya yaitu, nilai acak dari  $\alpha$  (*peak ground acceleration*) yang diberikan interval dari  $x/0,1 < x < 1$  dan diambil nilai minimum, nilai rata-rata serta nilai maximum yang terjadi. Hasil dari seluruh perhitungan CSR ditunjukkan dalam Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan CSR KP 62+300 - KP 62+630

No.	KP 62+	CSR dengan $\alpha_{\min} = 0,059g$	CSR dengan $\alpha_{\text{avg}} = 0,116g$	CSR dengan $\alpha_{\max} = 0,323g$
1.	300	0,0197	0,0386	0,1071
2.	310	0,0197	0,0387	0,1074
3.	320	0,0198	0,0388	0,1079
4.	330	0,0198	0,0388	0,1076
5.	340	0,0199	0,0390	0,1084
6.	350	0,0200	0,0392	0,1090
7.	360	0,0202	0,0396	0,1099
8.	370	0,0203	0,0398	0,1107
9.	380	0,0204	0,0399	0,1108
10.	390	0,0204	0,0400	0,1112
11.	400	0,0204	0,0401	0,1113
12.	410	0,0206	0,0403	0,1119
13.	420	0,0205	0,0403	0,1119
14.	430	0,0205	0,0401	0,1115
15.	440	0,0204	0,0400	0,1111
16.	450	0,0204	0,0400	0,1111

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan CSR KP 62+300 - KP 62+630 (Lanjutan)

No.	KP 62+	CSR dengan $\alpha$ min= 0,059g	CSR dengan $\alpha$ avg= 0,116g	CSR dengan $\alpha$ max= 0,323g
17.	460	0,0204	0,0400	0,1111
18.	470	0,0204	0,0400	0,1111
19.	480	0,0204	0,0400	0,1111
20.	490	0,0204	0,0400	0,1111
21.	500	0,0203	0,0398	0,1105
22.	510	0,0203	0,0397	0,1103
23.	520	0,0201	0,0394	0,1094
24.	530	0,0200	0,0392	0,1090
25.	540	0,0200	0,0392	0,1090
26.	550	0,0199	0,0390	0,1082
27.	560	0,0199	0,0389	0,1082
28.	570	0,0199	0,0389	0,1082
29.	580	0,0199	0,0390	0,1083
30.	590	0,0199	0,0390	0,1083
31.	600	0,0199	0,0390	0,1084
32.	610	0,0199	0,0390	0,1083
33.	620	0,0199	0,0390	0,1084
34.	630	0,0199	0,0390	0,1084

Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 menunjukkan CSR pada lokasi penelitian memiliki nilai yang cukup kecil, hal tersebut diakibatkan oleh nilai percepatan getaran tanah yang diperoleh dari penurunan kecepatan getaran tanah bernilai rata-rata 0,116 g.

#### 4.4.3 Perhitungan *Safety Factor*

Setelah didapatkan nilai CRR dan CSR, berikutnya adalah melakukan perhitungan *safety factor*. SF merupakan parameter terpenting dan mutlak yang harus diperhitungkan dalam proses identifikasi *soil liquefaction*.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan *Safety Factor*

No.	KP 62+	$\alpha$ min= 0,059g		$\alpha$ avg= 0,116g		$\alpha$ max= 0,323g	
		SF	KATEGORI	SF	KATEGORI	SF	KATEGORI
1.	300	69,43	Non Liquefaction	35,42	Non Liquefaction	12,75	Non Liquefaction
2.	310	69,21	Non Liquefaction	35,31	Non Liquefaction	12,71	Non Liquefaction
3.	320	69,23	Non Liquefaction	35,32	Non Liquefaction	12,72	Non Liquefaction
4.	330	69,40	Non Liquefaction	35,41	Non Liquefaction	12,75	Non Liquefaction

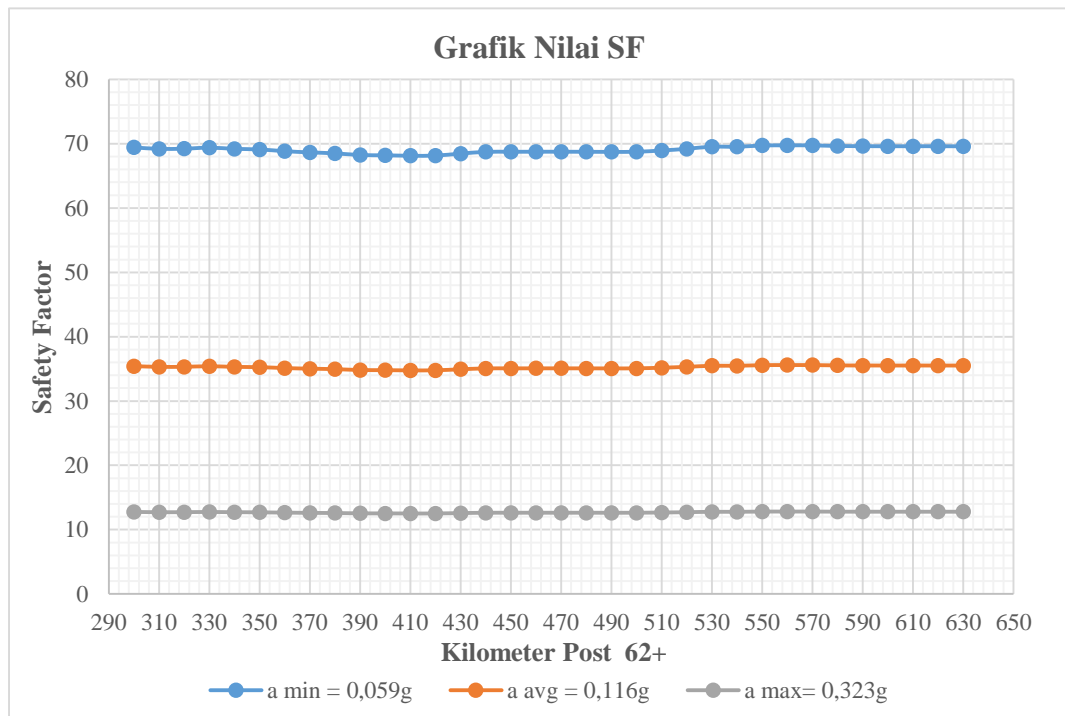
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan *Safety Factor* (Lanjutan)

No.	KP 62+	$\alpha$ min= 0,059g		$\alpha$ avg= 0,116g		$\alpha$ max= 0,323g	
		SF	KATEGORI	SF	KATEGORI	SF	KATEGORI
5.	340	69,20	Non Liquefaction	35,31	Non Liquefaction	12,71	Non Liquefaction
6.	350	69,12	Non Liquefaction	35,26	Non Liquefaction	12,69	Non Liquefaction
7.	360	68,84	Non Liquefaction	35,12	Non Liquefaction	12,64	Non Liquefaction
8.	370	68,66	Non Liquefaction	35,03	Non Liquefaction	12,61	Non Liquefaction
9.	380	68,51	Non Liquefaction	34,95	Non Liquefaction	12,58	Non Liquefaction
10.	390	68,25	Non Liquefaction	34,82	Non Liquefaction	12,54	Non Liquefaction
11.	400	68,21	Non Liquefaction	34,80	Non Liquefaction	12,53	Non Liquefaction
12.	410	68,13	Non Liquefaction	34,76	Non Liquefaction	12,51	Non Liquefaction
13.	420	68,16	Non Liquefaction	34,78	Non Liquefaction	12,52	Non Liquefaction
14.	430	68,47	Non Liquefaction	34,93	Non Liquefaction	12,58	Non Liquefaction
15.	440	68,74	Non Liquefaction	35,07	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
16.	450	68,75	Non Liquefaction	35,08	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
17.	460	68,76	Non Liquefaction	35,08	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
18.	470	68,76	Non Liquefaction	35,08	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
19.	480	68,75	Non Liquefaction	35,08	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
20.	490	68,74	Non Liquefaction	35,07	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
21.	500	68,75	Non Liquefaction	35,08	Non Liquefaction	12,63	Non Liquefaction
22.	510	68,95	Non Liquefaction	35,18	Non Liquefaction	12,66	Non Liquefaction
23.	520	69,21	Non Liquefaction	35,31	Non Liquefaction	12,71	Non Liquefaction
24.	530	69,54	Non Liquefaction	35,48	Non Liquefaction	12,77	Non Liquefaction
25.	540	69,53	Non Liquefaction	35,48	Non Liquefaction	12,77	Non Liquefaction
26.	550	69,73	Non Liquefaction	35,58	Non Liquefaction	12,81	Non Liquefaction
27.	560	69,75	Non Liquefaction	35,59	Non Liquefaction	12,81	Non Liquefaction
28.	570	69,75	Non Liquefaction	35,59	Non Liquefaction	12,81	Non Liquefaction
29.	580	69,65	Non Liquefaction	35,54	Non Liquefaction	12,79	Non Liquefaction
30.	590	69,63	Non Liquefaction	35,53	Non Liquefaction	12,79	Non Liquefaction
31.	600	69,61	Non Liquefaction	35,52	Non Liquefaction	12,79	Non Liquefaction
32.	610	69,62	Non Liquefaction	35,52	Non Liquefaction	12,79	Non Liquefaction
33.	620	69,61	Non Liquefaction	35,52	Non Liquefaction	12,79	Non Liquefaction
34.	630	69,61	Non Liquefaction	35,52	Non Liquefaction	12,79	Non Liquefaction

Hasil dari Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 menunjukkan bahwa untuk nilai percepatan getaran tanah minimum ( $\alpha_{\min} = 0,059$  g), rata-rata ( $\alpha_{\text{avg}} = 0,116$  g), dan maksimum ( $\alpha_{\max} = 0,323$ ) hasil perhitungan *safety factor* menunjukkan harga SF >1, yang berarti fenomena *soil liquefaction* tidak akan terjadi pada semua kilometer post tersebut. Artinya kegiatan pemancangan

tiang *flyover* tidak berdampak *liquefaction* pada tanah yang dapat merubah tegangan pada pipa, sehingga kemungkinan *buckling* dapat di tolerir.

Nilai *safety factor* yang cenderung besar merupakan pengaruh dari MSF pada Persamaan 2.9, MSF digunakan sebagai faktor koreksi untuk getaran selain magnitude 7,5 pada persamaan CSR. Dari tabel *safety factor* tiap variasi *peak particle acceleration* dapat dibuat grafik untuk mengetahui peningkatan SF disetiap KP.



Gambar 4.6 Grafik *Safety Factor* untuk KP 62+300 – KP 62+630

Pada Gambar 4.6 terlihat grafik *safety factor*, dengan sumbu x adalah KP untuk pipa dan sumbu y adalah nilai *safety factor*. Ketiga variasi *particle acceleration* ditunjukkan dengan perbedaan warna garis disetiap grafiknya. Garis biru untuk  $\alpha_{min} = 0,059g$ , garis orange untuk  $\alpha_{avg} = 0,116g$ , dan garis abu-abu untuk  $\alpha_{max} = 0,323g$ .

#### 4.4.4 Perhitungan Penurunan Tanah

Setelah diketahui adanya kemungkinan kerusakan struktur pipa gas berdasarkan perhitungan PPV, penting untuk mengetahui penyebab dari kerusakan tersebut berdasarkan *soil investigation*. Bagian terpenting dari *soil investigation* adalah memperkirakan terjadinya penurunan tanah akibat



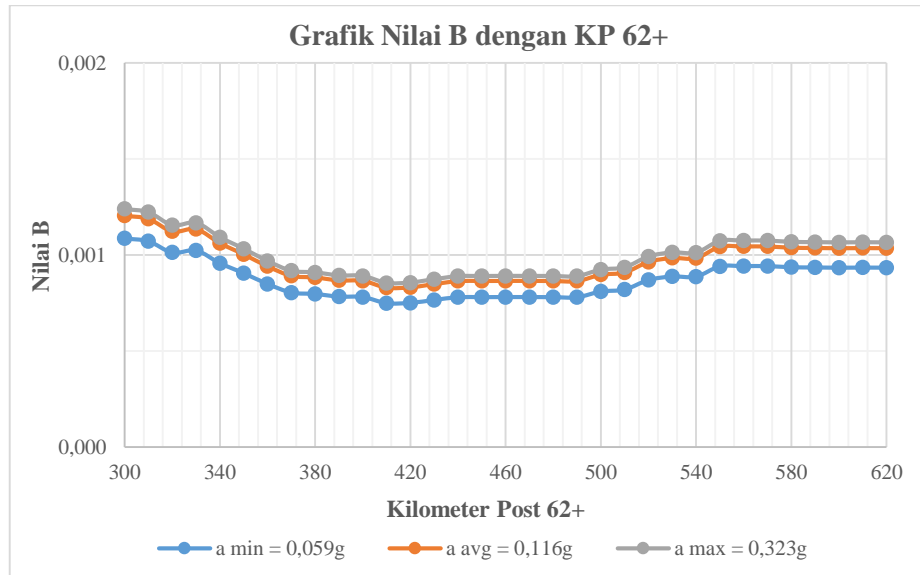
getaran (*soil liquefaction*) yang terjadi pada suatu daerah tertentu. Pada tugas akhir ini, wilayah yang akan diperkirakan mengalami penurunan tanah adalah lokasi keberadaan jalur pipa gas bawah tanah PT. X, KP 62+300 sampai KP 62+630, Kelurahan Tambak Osowilangun, Kota Surabaya.

Dengan menggunakan data lingkungan yang ada, serta Persamaan 2.11 sampai 2.17, maka penurunan tanah dapat diperkirakan kedalamannya.

Tabel 4.12 Hasil dari Perhitungan Penurunan Tanah

No.	KP 62+	a min = 0,059g			a avg = 0,116g			a max = 0,323g		
		$\lambda ZI$	B	ZL (m)	$\lambda ZI$	B	ZL (m)	$\lambda ZI$	B	ZL (m)
1.	300	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,13	0,00	0,02
2.	310	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,12	0,00	0,02
3.	320	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,12	0,00	0,02
4.	330	0,02	0,00	0,00	0,06	0,00	0,01	0,12	0,00	0,02
5.	340	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
6.	350	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
7.	360	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
8.	370	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
9.	380	0,01	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
10.	390	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
11.	400	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
12.	410	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,01
13.	420	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,01
14.	430	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,01
15.	440	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
16.	450	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
17.	460	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
18.	470	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
19.	480	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
20.	490	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
21.	500	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,09	0,00	0,02
22.	510	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
23.	520	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
24.	530	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
25.	540	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02
26.	550	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
27.	560	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
28.	570	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
29.	580	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
30.	590	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
31.	600	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
32.	610	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
33.	620	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02
34.	630	0,02	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,11	0,00	0,02

Hasil dari Tabel 4.12 menunjukkan bahwa untuk nilai percepatan getaran tanah minimum ( $\alpha_{\min} = 0,059 \text{ g}$ ), rata-rata ( $\alpha_{\text{avg}} = 0,116 \text{ g}$ ), dan maksimum ( $\alpha_{\max} = 0,323$ ) hasil perhitungan  $\lambda_{\text{ZL}}$  menunjukkan nilai 0 (nol) untuk semua kilometer post. Hal ini karena *soil liquefaction* tidak terjadi, sehingga penurunan tanah juga tidak terjadi.



Gambar 4.7 Grafik Nilai B untuk KP 62+300 sampai KP 62+630

Gambar 4.7 menunjukkan bahwa perhitungan  $\lambda_{\text{ZL}}$  sama dengan nol untuk nilai *peak ground acceleration* minimum ( $\alpha_{\min} = 0,059 \text{ g}$ ), rata-rata ( $\alpha_{\text{avg}} = 0,116 \text{ g}$ ) dan maksimum ( $\alpha_{\max} = 0,323 \text{ g}$ ) pada KP 62+300 sampai KP 62+630. Nilai  $\lambda_{\text{ZL}}$  yang telah didapatkan kemudian di masukan ke dalam grafik nilai B untuk mendapatkan kedalaman penurunan tanah yang terjadi setelah peristiwa *soil liquefaction*. Karena nilai  $\lambda_{\text{ZL}}$  sama dengan nol atau tidak terjadi peristiwa *soil liquefaction* sehingga penurunan tanah tidak terjadi, hal ini di tandai dengan garis biru ( $\alpha_{\min} = 0,059 \text{ g}$ ), orange ( $\alpha_{\text{avg}} = 0,116 \text{ g}$ ) dan abu-abu ( $\alpha_{\max} = 0,323 \text{ g}$ ) berhimpit di titik 0 (nol).

#### 4.5 Perhitungan Frekuensi

Simulasi monte carlo digunakan untuk mengestimasi peluang kegagalan yang terjadi pada sistem perpipaan akibat adanya peristiwa *soil liquefaction* atau *settlement*. Estimasi peluang kegagalan dimulai dengan mencari angka acak. Parameter yang diberi angka acak dalam perhitungan ini adalah parameter *ground*

*acceleration* ( $\alpha$ ) dengan memberikan data acak sebanyak 1000 data dan nilai antara 0,1-1. Kemudian angka acak tersebut dimasukan ke FKP distribusi yang digunakan, yaitu distribusi *uniform* dengan semua angka acak memiliki distribusi peluang yang sama dalam menentukan gagal atau suksesnya suatu sistem.  $F(x) 1/b-a$ , untuk  $a \leq x \leq 1$ . Persamaan moda kegagalan ditunjukkan oleh Persamaan 2.19. Perhitungan peluang kegagalan sistem berdasarkan Persamaan 2.23, dilakukan untuk setiap kilometer post. Peluang gagal dari seluruh kejadian disajikan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Peluang Kegagalan akibat *Soil Liquefaction*

KP 62+	Pg	KP 62+	Pg	KP 62+	Pg
300	0,022	410	0,037	520	0,005
310	0,021	420	0,036	530	0,009
320	0,039	430	0,039	540	0,007
330	0,035	440	0,031	550	0,002
340	0,039	450	0,025	560	0,006
350	0,010	460	0,013	570	0,004
360	0,027	470	0,019	580	0,005
370	0,031	480	0,020	590	0,006
380	0,118	490	0,035	600	0,004
390	0,124	500	0,015	610	0,004
400	0,112	510	0,026	620	0,005
				630	0,003

Kemudian menentukan frekuensi kejadian dengan menggunakan metode kegagalan yang telah ditentukan sebelumnya, frekuensi kejadian pertahun dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil *Failure Frequency* akibat *Soil Liquefaction*

KP 62+	Fk	Rf	KP 62+	Fk	Rf	KP 62+	Fk	Rf
300	16	5	410	27	5	520	4	5
310	15	5	420	26	5	530	6	5
320	28	5	430	28	5	540	5	5
330	25	5	440	22	5	550	1	5
340	28	5	450	18	5	560	5	5
350	7	5	460	9	5	570	3	5
360	19	5	470	14	5	580	4	5
370	22	5	480	14	5	590	4	5
380	85	5	490	25	5	600	3	5
390	89	5	500	11	5	610	3	5
400	81	5	510	19	5	620	4	5
						630	2	5

Dengan,

$F_k$  = Annual Failure Frequency

$R_f$  = Ranging Frekuensi (DNVGL-RP-F107, 2017)

Dari Tabel 4.14 dapat diketahui kategori kritis untuk perangkian frekuensi, banyak terdapat pada getaran dengan percepatan yang besar (*peak particle acceleration*). Nilai makin tinggi dalam tabel menandakan semakin tinggi pula potensi terjadinya likuifaksi (potensi *settlement* semakin besar).

#### 4.6 Perhitungan Konsekuensi

Perkiraan konsekuensi pada analisis risiko terhadap suatu sistem yang ditinjau merupakan bagian terpenting untuk menentukan bahaya yang terjadi akibat adanya pemicu bahaya yang terjadi lebih dulu. Pada tugas akhir ini bahaya yang diperkirakan akan muncul di lokasi crossing pipa gas PT. X dan *flyover* Teluk Lamong adalah penurunan tanah yang di sebabkan getaran tanah (pemancangan). Karena seluruh sistem yang ditinjau merupakan sistem perpipaan yang terkubur di bawah tanah -1m, maka konsekuensi yang mungkin timbul jika penurunan tanah terjadi adalah perubahan properties pipa yang dapat berakibat pada perubahan tegangan-tegangan yang bekerja di pipa. Tegangan tersebut diantaranya tegangan hoop, tegangan longitudinal dan tegangan kombinasi dari kedua tegangan tersebut. Untuk menentukan besarnya harga dari tegangan-tegangan tadi dapat menggunakan Persamaan 2.24 sampai Persamaan 2.32.

Tabel 4.15 Ranging Perhitungan Konsekuensi

No.	KP 62+	$\sigma_c$ (psi)	SMYS (psi)	Batas Minimum Kriteria < 0,9 SMYS (psi)	Ranging
1.	300	40972,86	46800	42120	1
2.	310	40972,86	46800	42120	1
3.	320	40972,85	46800	42120	1
4.	330	40972,87	46800	42120	1
5.	340	40972,87	46800	42120	1
6.	350	40972,88	46800	42120	1
7.	360	40972,90	46800	42120	1
8.	370	40972,91	46800	42120	1
9.	380	40972,92	46800	42120	1
10.	390	40972,92	46800	42120	1

Tabel 4.16 Rangking Perhitungan Konsekuensi (Lanjutan)

No.	KP 62+	$\sigma_C$ (psi)	SMYS (psi)	Batas Minimum Kriteria < 0,9 SMYS (psi)	Rangking
11.	400	40972,92	46800	42120	1
12.	410	40972,92	46800	42120	1
13.	420	40972,94	46800	42120	1
14.	430	40972,94	46800	42120	1
15.	440	40972,86	46800	42120	1
16.	450	40972,85	46800	42120	1
17.	460	40972,87	46800	42120	1
18.	470	40972,87	46800	42120	1
19.	480	40972,88	46800	42120	1
20.	490	40972,90	46800	42120	1
21.	500	40972,86	46800	42120	1
22.	510	40972,85	46800	42120	1
23.	520	40972,87	46800	42120	1
24.	530	40972,87	46800	42120	1
25.	540	40972,88	46800	42120	1
26.	550	40972,90	46800	42120	1
27.	560	40972,91	46800	42120	1
28.	570	40972,92	46800	42120	1
29.	580	40972,92	46800	42120	1
30.	590	40972,92	46800	42120	1
31.	600	40972,92	46800	42120	1
32.	610	40972,94	46800	42120	1
33.	620	40972,94	46800	42120	1
34.	630	40972,86	46800	42120	1

Dari Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 dapat diketahui bahwa rangking konsekuensi untuk semua kilometer post, berada pada batas minimum kriteria kurang dari 0,9 SMYS (*Specified Minimum Yield Strength*) atau dengan kata lain konsekuensi pipa berada pada rangking terendah.

#### 4.8 Matriks Risiko

Setelah hasil dari perhitungan frekuensi dan konsekuensi diketahui berdasarkan masing-masing variasi *peak particle acceleration*, langkah terakhir adalah memasukan rangking yang didapat kedalam matriks risiko. Matriks risiko dalam tugas akhir ini berupa, perkalian antara frekuensi atau peluang kejadian dengan konsekuensi, yang sebelumnya telah dilakukan tabulasi seperti dalam Tabel 4.17.

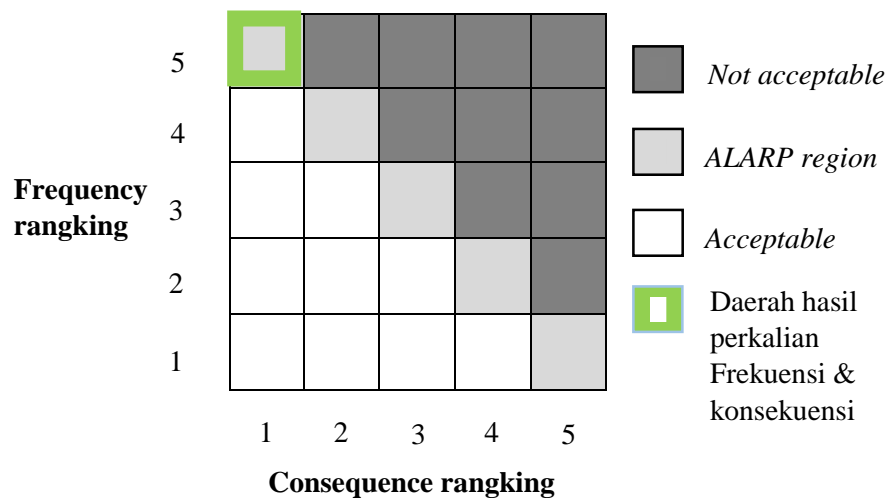
Tabel 4.17 Tabulasi Matriks Risiko

KP 62+	Rf	Rk	KP 62+	Rf	Rk	KP 62+	Rf	Rk
300	5	1	410	5	1	520	5	1
310	5	1	420	5	1	530	5	1
320	5	1	430	5	1	540	5	1
330	5	1	440	5	1	550	5	1
340	5	1	450	5	1	560	5	1
350	5	1	460	5	1	570	5	1
360	5	1	470	5	1	580	5	1
370	5	1	480	5	1	590	5	1
380	5	1	490	5	1	600	5	1
390	5	1	500	5	1	610	5	1
400	5	1	510	5	1	620	5	1
						630	5	1

Dengan,

Rf = Ranging Frekuensi

Rk = Ranging Konsekuensi



Gambar 4.8 Matriks Risiko (DNVGL-RP-F107, 2017)

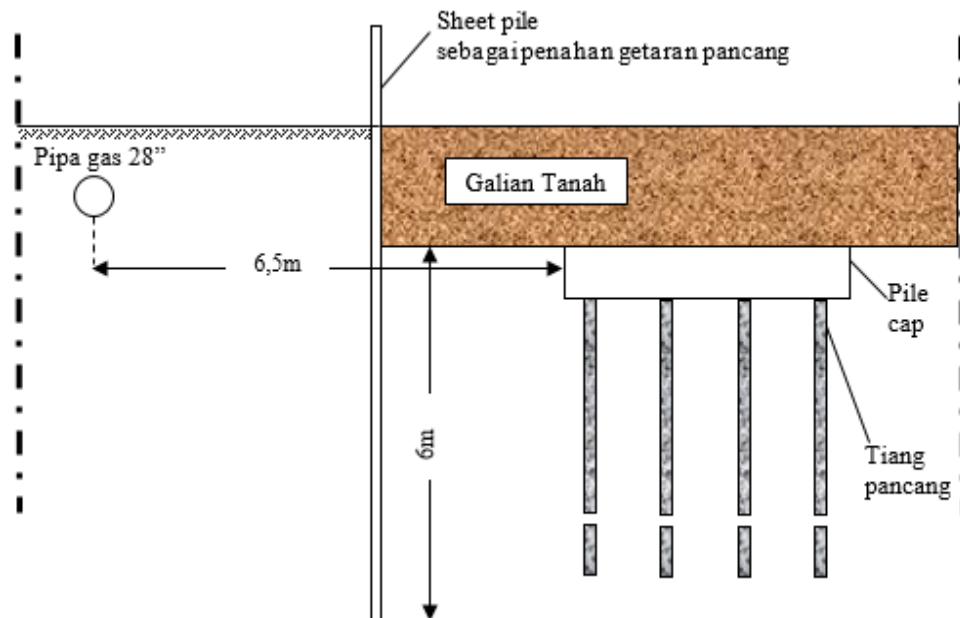
Dari Gambar 4.8 menunjukkan bahwa hasil perhitungan rangking yang telah dilakukan, semua berada pada zona ALARP atau dengan kata lain risiko yang ditimbulkan masih dalam kategori dapat diterima.

#### 4.9 Rekomendasi Tindakan Preventif

Hasil perhitungan frekuensi dan konsekuensi menunjukkan risiko kegagalan pipa akibat *soil liquefaction* berada pada zona ALARP, sehingga agar risiko tidak meningkat ke zona *non acceptable* (tidak dapat diterima), maka dilakukan tindakan preventif untuk meningkatkan keamanan pipa gas. Berikut metode pengurangan getaran pada pipa gas akibat pemancangan tiang:

##### 1. Isolasi Getaran Berupa *Sheet Pile*

Pemasangan pelindung getaran yang berupa *sheet pile*, dapat menahan getaran tanah akibat pemancangan ke pipa gas.

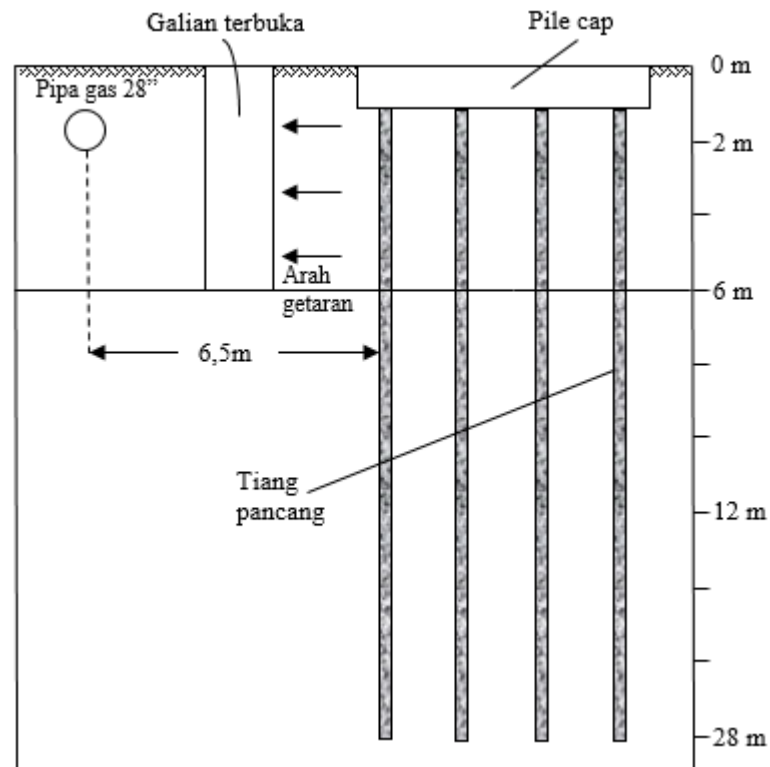


Gambar 4.9 *Sheet pile* sebagai Pelindung Getaran Akibat Pemancangan

Gambar 4.9 menunjukkan *sheet pile* yang dilengkapi dengan selimut beton, dipasang diantara pipa gas dan pile group yang dipancang. Jenis isolasi ini dipandang memungkinkan untuk dikerjakan dan aman bagi stabilitas pipa yang dilindungi. Hal tersebut disebabkan karena sokongan selimut beton terhadap tanah yang dapat menghindarkan tanah dari keruntuhan, sehingga akan menjaga stabilitas dari pipa gas yang dilindungi.

## 2. Isolasi Getaran Berupa Galian Terbuka (*Open Cut*)

Konsep memutus media rambatan getar dapat dilakukan salah satunya dengan membuat galian terbuka di sekitar area pemancangan tiang. Dengan teori yang cukup sederhana mengikuti hukum archimedes (dalam fisika dasar) dimana volume tanah yang terdesak (akibat pemancangan) harus minimal sama dengan volume tanah yang di pindahkan (digali). Ilustrasi sebagai berikut :



Gambar 4.10 *Open cut* sebagai Pemutus Getaran Akibat Pemancangan

Gambar 4.10 menunjukkan galian terbuka yang berada diantara *pile group* dan pipa gas. Hal yang perlu diperhatikan dengan sistem galian terbuka ini adalah longsoran setempat, yang mungkin bisa saja terjadi karena berbagai faktor seperti air, atau getaran kendaraan (bila lokasi dekat dengan akses jalan), tetapi dengan sistem galian terbuka ini maka rambatan getaran akan terhalang/ terputus, sehingga efek getaran akibat pemancangan tiang dapat diminimalisir.



### 3. Pemilihan Tipe *Hammer*

Dari analisis yang telah dilakukan, rencana pemancangan dengan *diesel hammer* kurang sesuai untuk penggunaan di dekat pipa gas dan pemukiman, hal ini disebabkan getaran *impact* yang dihasilkan besar. Sehingga agar pipa gas tetap aman selama proses pemancangan, maka diberikan rekomendasi untuk penggunaan alat pancang yang memiliki efek getaran dan kebisingan yang rendah. Sehingga alat pancang tipe *hydraulic hammer* lebih sesuai untuk kondisi tersebut.

*Hydraulic hammer* sendiri merupakan sistem pemancangan pondasi tiang, yang pelaksanaannya ditekan masuk ke dalam tanah dengan menggunakan dongkrak hidrolik yang diberi beban *counterweight*, sehingga tidak menimbulkan getaran. Gaya tekan tiang setiap mencapai kedalaman tertentu dapat diketahui karena gaya tekan dongkrak langsung dapat dibaca melalui manometer.

Keuntungan dari pemasangan tiang pancang dengan sistem *hydraulic hammer* yaitu:

- Dengan sistem ini tiang akan tertekan secara kontiniu ke dalam tanah, tanpa suara, tanpa pukulan dan tanpa getaran.
- Dapat diketahui daya dukung aktual per tiang pada setiap pemancangan.
- Dapat dilakukan pemasangan tiang pancang pada kondisi lingkungan kerja yang terbatas

Dengan begitu pemasangan tiang pancang dengan sistem ini dapat menjadi pekerjaan yang ramah lingkungan.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai risiko pada pipa gas terkait dengan rencana pemancangan tiang pondasi *flyover* Teluk Lamong:

1. Dari hasil identifikasi *hazard* yang telah dilakukan, skenario *hazard* signifikan yang terjadi pada pipa gas saat pembangunan *flyover* Teluk Lamong adalah pada kegiatan pemancangan. Lokasi pipa gas yang berjarak 6 meter dari posisi pemancangan memungkinkan pipa mengalami gangguan atau kerusakan akibat getaran pemancangan yang terjadi.
2. Frekuensi *hazard* dihitung dengan metode monte carlo, hasilnya berupa peluang kegagalan dari sistem yang ditinjau. Dari perhitungan dan analisis yang telah dilakukan berdasarkan data yang ada, diketahui bahwa di lokasi *crossing* pipa dan *flyover* tidak akan terjadi peristiwa *soil liquefaction* atau kemungkinan terjadinya sangat kecil, karena nilai *safety factor* dari KP 62+300 sampai KP 62+630 lebih besar dari 1 untuk percepatan getaran tanah minimum ( $\alpha_{\min} = 0,059 \text{ g}$ ), rata-rata ( $\alpha_{\text{avg}} = 0,116 \text{ g}$ ) dan maksimum ( $\alpha_{\max} = 0,323$ ).
3. Konsekuensi dihitung berdasarkan analisis tegangan-tegangan yang terjadi pada pipa yaitu, *longitudinal stress*, *axial stress*, *hoop stress* selanjutnya dikalkulasi menjadi *combined stress*. Nilai *combined stress* yang dibandingkan dengan SMYS (*Specified Minimum Yield Strength*) menunjukkan bahwa rangking konsekuensi untuk semua kilometer post, berada pada batas minimum kriteria  $< 0,9 \text{ SMYS}$  atau dengan kata lain konsekuensi pipa berada pada rangking terendah.
4. Penilaian risiko yang dilakukan dengan memasukkan hasil rangking frekuensi dan konsekuensi menunjukkan, bahwa tingkat risiko berada di zona ALARP pada matriks risiko. Ini berarti risiko yang muncul akibat peristiwa pemancangan masih dapat diterima.

5. Rekomendasi tindakan preventif (pencegahan) dalam penelitian ini dibuat untuk mengurangi efek getaran yang timbul akibat pemancangan, agar tidak membahayakan pipa gas. Tindakan tersebut berupa:

- Memasang *sheet pile* untuk isolasi getaran.
- Memutus media rambatan getar dengan membuat galian terbuka.
- Memilih *hammer* pancang dengan tipe *impact* rendah agar getaran yang ditransmisikan dalam tanah kecil dan tidak merusak utilitas didekatnya terutama pipa gas. Contohnya menggunakan *hydraulic hammer*.

## 5.2 Saran

Berikut saran yang dapat dipertimbangkan, untuk dilakukan analisis lebih lanjut dalam penelitian berikutnya:

1. Dapat dilakukan analisis risiko kembali dengan variasi nilai magnitude getaran akibat pemancangan.
2. Metode analisis risiko yang digunakan dalam tugas akhir ini dapat dikembangkan/ dikombinasikan dengan metode analisis risiko lain.
3. Untuk tindakan preventif yang telah disebutkan dalam penelitian ini, dapat dilakukan perhitungan lebih lanjut sehingga diketahui ke optimalan dari tindakan preventif yang telah disarankan.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Mechanical Engineers (ASME B31.8). 2016. *Gas Transmission and Distribution Piping Systems*. New York.
- Attewell, P. B. dan Farmer, I. W. 1973. *Attenuation of Ground Vibration from Pile Driving*. Ground Engineering, Vol. 3, No. 7, pp. 26-29.
- Broms, Bengt B. 1981. *Precast Piling Practice*. Thomas Telford, Ltd. London.
- Burland J. B. dan Mitchell J. M. 1989. *Piling and Deep Foundations*. Proceedings of International Conference on Piling and Deep Foundations. London.
- Cooper, D., et al. 2005. *Project Risk Management Guidelines, Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Det Norske Veritas German Lloyd (DNVGL-RP-F107). 2017. *Recommended Practice: Risk Assessment of Pipeline Protection*. Norwegia.
- Deutsches Institut für Normung (DIN 4150-3). 2016. *Structural Vibration "Part 3: Effects of Vibration on Structures"*. Germany.
- Dowding, Charles H. 1984. *Blast Vibration Monitoring and Control*. USA: Northwestern University.
- Duffield, C. dan Trigunaryah, B. 1999. *Project Management Conception to Completion*. Australia: Engineering Education Australia (EEA).
- Esford, F. et al. 2004. *A Risk Assessment Model for Pipelines Exposed to Geohazards*. Internasional Pipeline conference. DOI: 10.1115/IPC2004-0327.
- Idriss, I. M. dan Boulanger, R. W. 2008. *Soil Liquefaction during Earthquake*. EERI Publication, Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland.
- Jardine, R. J. dan Standing, J. R. 2012. *Field axial cyclic loading experiments on piles driven in Sand*. Journal Soils and Fondation, Pages 723-736.
- Jeng dan Seymour. 2007. *Simplified Analytical Approximation for pore-Water Pressure Build-up in Marine Sediments*. ACSE, 0733-950X (2007) 133:4.
- Jha, S. K. dan Suzuki K. 2008. *Reliability Analysis of Soil Liquefaction Based on Standart Penetration Test*. Computers and Geotechnics, page 589-596.
- Kangari, R. 1995. *Risk Management Prerseption and Trends of US Construction*, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol 121.

- Lacy, H. S. dan Gould, J. P. 1985. *Settlement of Cohesionless Soils due to Piling Vibrations*. Journal Straits Engineeris. New York.
- Massarsch, K. R. dan Westerberg, E. 1995. *The Active Design Concept Applied to Soil Compaction*. Proc. of Bengt B. Broms Symposium in Geotechnical Engineering, Singapura. Page 262-276.
- Meinata, L. E., dkk. 2010. Perubahan Kekuatan Geser Tanah Lempung Jenuh Akibat Pemancangan. Jurnal Geoteknik. Indonesia.
- Merrit, J. 1998. *A Method for Quantitatives Risk Analysis*. CISSP. Indianapolis: USA.
- Narodo, S. W. 2014. Perancangan Pipeline ASME B31.8. “Analisis Kasus Upheaval Buckling pada Onshore Pipeline”. Diakses pada 10 Februari 2018 di <https://edoc.site/perancangan-pipeline-asme-b318-bab-ii-pdf-free.html>
- Olivia, V. dkk. 2016. Peningkatan Tekanan Air Pori Akibat Pemancangan Pondasi Tiang. Jurnal Geoteknik. Indonesia.
- Pelabuhan Indonesia III. 2018. Pembangunan Aksesibilitas Darat Flyover dan Tapper Terminal Teluk Lamong. Surabaya: Pelindo III.
- Pelindo III. 2018. Press Release: Realisasikan PSN Flyover Teluk Lamong-JLLB. Pelindo III Sinergi BUMN. Diakses pada 6 Februari 2018 di <https://www.pelindo.co.id/en/media/berita-pers/q/press-release-realisasikan-psn-flyover-teluk-lamong-jllb-pelindo-iii-sinergi-bumn>
- Poulos H. G. dan Davis E. H. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. New York: John Wiley and Sons.
- Prismono. 2016. Pentingnya Pipa Gas Gresik-Semarang. Diakses pada 10 Februari 2018 di <https://petrominer.com/pentingnya-pipa-gas-gresik-semarang/>
- Psyrras N. K dan Sextos A. G. 2017. *Safety of Buried Steel Natural Gas Pipelines Under Earthquake-Induced Ground Shaking: a Review*. Journal Soil Dynamics and Earthquake Engineering. Volume 106, March 2018, Pages 254-277.
- Rafika, A. 2009. Analisa Risiko Terhadap Pipa Gas Bawah Laut di Teluk Jakarta Akibat *Soil Liquefaction*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ramírez-Camacho, J.G., et al. 2016. *Assessing the Consequences of Pipeline Accidents to Support Land-Use Planning*. Journal Safety Science Volume 97, August 2017, Pages 34-42.
- Randolph, M. F. et al. 1979. *Driven Piles in Clay - The Effects of Installation and Subsequent Consolidation*. Journal Geotechnic. 29 (4): 361-393.

- Rausand, M. 2011. *Risk Assessment Theory Method and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Rosyid, D. M. 2007. *Pengantar Rekayasa Keandalan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Seed, H. B., dan Idriss, I. M. 1971. *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*. J. Geotech. Eng. Div., ASE, 97:9.
- Seed, H. B., dan Idriss, I. M. 1982. *Ground Motion and Soil Liquefaction During Earthquake*. Earthquake Engineering Research Institute Monograph, Oakland, Calif.
- Svinkin, M. K. 2008. *Soil and Structure Vibrations from Construction and Industrial Sources*. International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering.
- Whyley, P. J. dan Sarsby, R.W. 1992. *Ground Borne Vibration from Piling*. Journal Ground Engineering. United Kingdom.
- Wu, Jiansong., et al. 2017. *Probabilistic Analysis of Natural Gas Pipeline Network Accident Based on Bayesian Network*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries Volume 46, March 2017, Pages 126-136.
- Yasuhara, K. et al. 1992. *Earthquake-Induced Residual Settlements in Soft Soils*. Japan: Departement of Urban and Civil Engineering.
- Yu et al. 2001. *Progressive Liquefaction Process of Loosely Deposited Sand Bed Under Oscillating Water Pressure on its Surface*. J. Geotech. Eng. Div., JSCE. No 680/III-55, 1-14.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## LAMPIRAN TABEL

Tabel 1. Hasil Perhitungan *Peak Particle Velocity*

No.	Tinggi Jatuh Hammer (m)	Wt (kg.m <sup>3</sup> .s <sup>2</sup> )	Distance (m)	PPV (mm/s)
1.	20,000	200000	1,000	670,820
2.	9,000	90000	1,500	300,000
3.	4,000	40000	2,000	150,000
4.	6,000	60000	2,500	146,969
5.	9,000	90000	3,000	150,000
6.	11,000	110000	3,500	142,141
7.	14,000	140000	4,000	140,312
8.	15,000	150000	4,500	129,099
9.	16,000	160000	5,000	120,000
10.	18,000	180000	5,500	115,708
11.	18,000	180000	6,000	106,066
12.	18,000	180000	6,500	97,907
13.	10,000	100000	7,000	67,763
14.	6,000	60000	7,500	48,990
15.	4,000	40000	8,000	37,500
16.	3,500	35000	8,500	33,015
17.	3,400	34000	9,000	30,732
18.	3,000	30000	9,500	27,348
19.	2,800	28000	10,000	25,100
20.	2,400	24000	10,500	22,131
21.	2,200	22000	11,000	20,226
22.	2,000	20000	11,500	18,446
23.	2,100	21000	12,000	18,114
24.	1,800	18000	12,500	16,100
25.	1,600	16000	13,000	14,595
26.	1,500	15000	13,500	13,608
27.	1,300	13000	14,000	12,216
28.	1,200	12000	14,500	11,332
29.	1,200	12000	15,000	10,954
30.	1,200	12000	15,500	10,601
31.	1,100	11000	16,000	9,833
32.	1,100	11000	16,500	9,535
33.	1,100	11000	17,000	9,254
34.	1,100	11000	17,500	8,990
35.	1,100	11000	18,000	8,740
36.	1,100	11000	18,500	8,504
37.	1,000	10000	19,000	7,895
38.	1,000	10000	19,500	7,692
39.	1,000	10000	20,000	7,500
40.	1,000	10000	20,500	7,317
41.	1,000	10000	21,000	7,143
42.	1,000	10000	21,500	6,977
43.	1,000	10000	22,000	6,818
44.	1,000	10000	22,500	6,667
45.	1,000	10000	23,000	6,522
46.	1,000	10000	23,500	6,383
47.	1,000	10000	24,000	6,250
48.	1,000	10000	24,500	6,122
49.	1,000	10000	25,000	6,000
50.	1,000	10000	25,500	5,882
51.	1,000	10000	26,000	5,769
52.	1,000	10000	26,500	5,660
53.	1,000	10000	27,000	5,556
54.	1,000	10000	27,500	5,455
55.	1,000	10000	28,000	5,357

No.	Tinggi Jatuh Hammer (m)	Wt (kg.m <sup>3</sup> .s <sup>2</sup> )	Distance (m)	PPV (mm/s)
56.	1,000	10000	28,500	5,263
57.	1,000	10000	29,000	5,172
58.	1,000	10000	29,500	5,085
59.	1,000	10000	30,000	5,000
60.	1,000	10000	30,500	4,918
61.	1,000	10000	31,000	4,839
62.	1,000	10000	31,500	4,762
63.	1,000	10000	32,000	4,688
64.	1,000	10000	32,500	4,615
65.	1,000	10000	33,000	4,545
66.	1,000	10000	33,500	4,478
67.	1,000	10000	34,000	4,412
68.	1,000	10000	34,500	4,348
69.	1,000	10000	35,000	4,286
70.	1,000	10000	35,500	4,225
71.	1,000	10000	36,000	4,167
72.	1,000	10000	36,500	4,110
73.	1,000	10000	37,000	4,054
74.	1,000	10000	37,500	4,000
75.	1,000	10000	38,000	3,947
76.	1,000	10000	38,500	3,896
77.	1,000	10000	39,000	3,846
78.	1,000	10000	39,500	3,797
79.	1,000	10000	40,000	3,750
80.	1,000	10000	40,500	3,704
81.	1,000	10000	41,000	3,659
82.	1,000	10000	41,500	3,614
83.	1,000	10000	42,000	3,571
84.	1,000	10000	42,500	3,529
85.	1,000	10000	43,000	3,488
86.	1,000	10000	43,500	3,448
87.	1,000	10000	44,000	3,409
88.	1,000	10000	44,500	3,371
89.	1,000	10000	45,000	3,333
90.	1,000	10000	45,500	3,297
91.	1,000	10000	46,000	3,261
92.	1,000	10000	46,500	3,226
93.	1,000	10000	47,000	3,191
94.	1,000	10000	47,500	3,158
95.	1,000	10000	48,000	3,125
96.	1,000	10000	48,500	3,093
97.	1,000	10000	49,000	3,061
98.	1,000	10000	49,500	3,030
99.	1,000	10000	50,000	3,000

Tabel 2. Sifat Tanah Berdasarkan Properties Penyusunnya

Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Spesific Gravity	Gs	2.68	
Angka pori	e	3.00	
Derajat kejenuhan	S	1.00	
Porositas	n	75.00	%
Kadar air	w	110.00	%
Berat volume jenuh air	$\gamma_{sat}$	1.42	N/m <sup>3</sup>
Berat volume kering	$\gamma_d$	0.67	N/m <sup>3</sup>
Berat volume air	$\gamma_w$	1.00	N/m <sup>3</sup>
Berat volume tanah efektif	$\gamma'$	0.42	N/m <sup>3</sup>
Tinggi muka air	H	3	m

### LAMPIRAN PERHITUNGAN POTENSI LIKUIFAKSI

Tabel 3. Hasil Perhitungan Likuifaksi dengan Percepatan Getaran Tanah Minimum dan Koreksi MSF = 6,83

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ min	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,6	300	Clay Saturated	5,055	1,436	0,581	9,81	1,30	0,992	0,33	1,366	0,020	69,429	Non Liquefaction
3,6	310	Clay Saturated	5,090	1,442	0,581	9,81	1,30	0,992	0,33	1,366	0,020	69,209	Non Liquefaction
3,5	320	Clay Saturated	4,942	1,395	0,581	9,81	1,25	0,992	0,33	1,372	0,020	69,232	Non Liquefaction
3,5	330	Clay Saturated	4,916	1,391	0,581	9,81	1,25	0,992	0,33	1,372	0,020	69,397	Non Liquefaction
3,4	340	Clay Saturated	4,800	1,349	0,581	9,81	1,20	0,993	0,33	1,378	0,020	69,205	Non Liquefaction
3,3	350	Clay Saturated	4,665	1,304	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,384	0,020	69,115	Non Liquefaction
3,2	360	Clay Saturated	4,556	1,264	0,581	9,81	1,10	0,994	0,33	1,389	0,020	68,842	Non Liquefaction
3,1	370	Clay Saturated	4,430	1,221	0,581	9,81	1,05	0,994	0,33	1,395	0,020	68,657	Non Liquefaction
3,1	380	Clay Saturated	4,452	1,225	0,581	9,81	1,05	0,994	0,33	1,395	0,020	68,510	Non Liquefaction
3,2	390	Clay Saturated	4,490	1,232	0,581	9,81	1,05	0,994	0,33	1,394	0,020	68,250	Non Liquefaction
3,2	400	Clay Saturated	4,497	1,233	0,581	9,81	1,05	0,994	0,33	1,394	0,020	68,205	Non Liquefaction
3,1	410	Clay Saturated	4,351	1,186	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,401	0,021	68,135	Non Liquefaction
3,1	420	Clay Saturated	4,347	1,185	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,401	0,021	68,164	Non Liquefaction
3,0	430	Clay Saturated	4,303	1,178	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,402	0,020	68,465	Non Liquefaction
3,0	440	Clay Saturated	4,264	1,171	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,020	68,738	Non Liquefaction
3,0	450	Clay Saturated	4,263	1,171	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,020	68,748	Non Liquefaction
3,0	460	Clay Saturated	4,261	1,170	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,020	68,759	Non Liquefaction
3,0	470	Clay Saturated	4,261	1,170	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,020	68,759	Non Liquefaction
3,0	480	Clay Saturated	4,263	1,171	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,020	68,748	Non Liquefaction
3,0	490	Clay Saturated	4,264	1,171	0,581	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,020	68,738	Non Liquefaction

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ min	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,1	500	Clay Saturated	4,416	1,219	0,581	9,81	1,05	0,994	0,33	1,396	0,020	68,755	Non Liquefaction
3,1	510	Clay Saturated	4,388	1,214	0,581	9,81	1,05	0,994	0,33	1,397	0,020	68,952	Non Liquefaction
3,2	520	Clay Saturated	4,501	1,255	0,581	9,81	1,10	0,994	0,33	1,391	0,020	69,214	Non Liquefaction
3,1	530	Clay Saturated	4,455	1,246	0,581	9,81	1,10	0,994	0,33	1,392	0,020	69,541	Non Liquefaction
3,1	540	Clay Saturated	4,456	1,247	0,581	9,81	1,10	0,994	0,33	1,392	0,020	69,531	Non Liquefaction
3,2	550	Clay Saturated	4,575	1,289	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,020	69,729	Non Liquefaction
3,2	560	Clay Saturated	4,572	1,288	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,020	69,749	Non Liquefaction
3,2	570	Clay Saturated	4,572	1,288	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,020	69,749	Non Liquefaction
3,2	580	Clay Saturated	4,587	1,291	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,020	69,650	Non Liquefaction
3,2	590	Clay Saturated	4,589	1,291	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,020	69,631	Non Liquefaction
3,2	600	Clay Saturated	4,592	1,292	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,020	69,611	Non Liquefaction
3,2	610	Clay Saturated	4,591	1,291	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,020	69,620	Non Liquefaction
3,2	620	Clay Saturated	4,592	1,291	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,020	69,612	Non Liquefaction
3,2	630	Clay Saturated	4,593	1,292	0,581	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,020	69,609	Non Liquefaction

Tabel 4. Hasil Perhitungan Likuifaksi dengan Percepatan Getaran Tanah Rata-rata dan Koreksi MSF = 6,83

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ avg	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,6	300	Clay Saturated	5,055	1,436	1,139	9,81	1,30	0,992	0,33	1,366	0,039	35,423	Non Liquefaction
3,6	310	Clay Saturated	5,090	1,442	1,139	9,81	1,30	0,992	0,33	1,366	0,039	35,311	Non Liquefaction
3,5	320	Clay Saturated	4,942	1,395	1,139	9,81	1,25	0,992	0,33	1,372	0,039	35,323	Non Liquefaction
3,5	330	Clay Saturated	4,916	1,391	1,139	9,81	1,25	0,992	0,33	1,372	0,039	35,407	Non Liquefaction

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ avg	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,4	340	Clay Saturated	4,800	1,349	1,139	9,81	1,20	0,993	0,33	1,378	0,039	35,309	Non Liquefaction
3,3	350	Clay Saturated	4,665	1,304	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,384	0,039	35,263	Non Liquefaction
3,2	360	Clay Saturated	4,556	1,264	1,139	9,81	1,10	0,994	0,33	1,389	0,040	35,124	Non Liquefaction
3,1	370	Clay Saturated	4,430	1,221	1,139	9,81	1,05	0,994	0,33	1,395	0,040	35,029	Non Liquefaction
3,1	380	Clay Saturated	4,452	1,225	1,139	9,81	1,05	0,994	0,33	1,395	0,040	34,954	Non Liquefaction
3,2	390	Clay Saturated	4,490	1,232	1,139	9,81	1,05	0,994	0,33	1,394	0,040	34,821	Non Liquefaction
3,2	400	Clay Saturated	4,497	1,233	1,139	9,81	1,05	0,994	0,33	1,394	0,040	34,799	Non Liquefaction
3,1	410	Clay Saturated	4,351	1,186	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,401	0,040	34,763	Non Liquefaction
3,1	420	Clay Saturated	4,347	1,185	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,401	0,040	34,778	Non Liquefaction
3,0	430	Clay Saturated	4,303	1,178	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,402	0,040	34,931	Non Liquefaction
3,0	440	Clay Saturated	4,264	1,171	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,040	35,071	Non Liquefaction
3,0	450	Clay Saturated	4,263	1,171	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,040	35,076	Non Liquefaction
3,0	460	Clay Saturated	4,261	1,170	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,040	35,081	Non Liquefaction
3,0	470	Clay Saturated	4,261	1,170	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,040	35,081	Non Liquefaction
3,0	480	Clay Saturated	4,263	1,171	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,040	35,076	Non Liquefaction
3,0	490	Clay Saturated	4,264	1,171	1,139	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,040	35,071	Non Liquefaction
3,1	500	Clay Saturated	4,416	1,219	1,139	9,81	1,05	0,994	0,33	1,396	0,040	35,079	Non Liquefaction
3,1	510	Clay Saturated	4,388	1,214	1,139	9,81	1,05	0,994	0,33	1,397	0,040	35,180	Non Liquefaction
3,2	520	Clay Saturated	4,501	1,255	1,139	9,81	1,10	0,994	0,33	1,391	0,039	35,313	Non Liquefaction
3,1	530	Clay Saturated	4,455	1,246	1,139	9,81	1,10	0,994	0,33	1,392	0,039	35,480	Non Liquefaction
3,1	540	Clay Saturated	4,456	1,247	1,139	9,81	1,10	0,994	0,33	1,392	0,039	35,475	Non Liquefaction
3,2	550	Clay Saturated	4,575	1,289	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,039	35,576	Non Liquefaction
3,2	560	Clay Saturated	4,572	1,288	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,039	35,586	Non Liquefaction

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ avg	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,2	570	Clay Saturated	4,572	1,288	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,039	35,586	Non Liquefaction
3,2	580	Clay Saturated	4,587	1,291	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,039	35,536	Non Liquefaction
3,2	590	Clay Saturated	4,589	1,291	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,039	35,526	Non Liquefaction
3,2	600	Clay Saturated	4,592	1,292	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,039	35,516	Non Liquefaction
3,2	610	Clay Saturated	4,591	1,291	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,039	35,521	Non Liquefaction
3,2	620	Clay Saturated	4,592	1,291	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,039	35,517	Non Liquefaction
3,2	630	Clay Saturated	4,593	1,292	1,139	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,039	35,515	Non Liquefaction

Tabel 5. Hasil Perhitungan Likuiifikasi dengan Percepatan Getaran Tanah Maximum dan Koreksi MSF = 6,83

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ max	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,6	300	Clay Saturated	5,055	1,436	3,164	9,81	1,30	0,992	0,33	1,366	0,107	12,752	Non Liquefaction
3,6	310	Clay Saturated	5,090	1,442	3,164	9,81	1,30	0,992	0,33	1,366	0,107	12,712	Non Liquefaction
3,5	320	Clay Saturated	4,942	1,395	3,164	9,81	1,25	0,992	0,33	1,372	0,108	12,716	Non Liquefaction
3,5	330	Clay Saturated	4,916	1,391	3,164	9,81	1,25	0,992	0,33	1,372	0,108	12,746	Non Liquefaction
3,4	340	Clay Saturated	4,800	1,349	3,164	9,81	1,20	0,993	0,33	1,378	0,108	12,711	Non Liquefaction
3,3	350	Clay Saturated	4,665	1,304	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,384	0,109	12,695	Non Liquefaction
3,2	360	Clay Saturated	4,556	1,264	3,164	9,81	1,10	0,994	0,33	1,389	0,110	12,645	Non Liquefaction
3,1	370	Clay Saturated	4,430	1,221	3,164	9,81	1,05	0,994	0,33	1,395	0,111	12,611	Non Liquefaction
3,1	380	Clay Saturated	4,452	1,225	3,164	9,81	1,05	0,994	0,33	1,395	0,111	12,584	Non Liquefaction
3,2	390	Clay Saturated	4,490	1,232	3,164	9,81	1,05	0,994	0,33	1,394	0,111	12,536	Non Liquefaction
3,2	400	Clay Saturated	4,497	1,233	3,164	9,81	1,05	0,994	0,33	1,394	0,111	12,527	Non Liquefaction

H (m)	KP 62+	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	$\alpha$ max	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	SF	Kategori
3,1	410	Clay Saturated	4,351	1,186	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,401	0,112	12,515	Non Liquefaction
3,1	420	Clay Saturated	4,347	1,185	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,401	0,112	12,520	Non Liquefaction
3,0	430	Clay Saturated	4,303	1,178	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,402	0,111	12,575	Non Liquefaction
3,0	440	Clay Saturated	4,264	1,171	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,111	12,625	Non Liquefaction
3,0	450	Clay Saturated	4,263	1,171	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,111	12,627	Non Liquefaction
3,0	460	Clay Saturated	4,261	1,170	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,111	12,629	Non Liquefaction
3,0	470	Clay Saturated	4,261	1,170	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,111	12,629	Non Liquefaction
3,0	480	Clay Saturated	4,263	1,171	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,111	12,627	Non Liquefaction
3,0	490	Clay Saturated	4,264	1,171	3,164	9,81	1,00	0,994	0,33	1,403	0,111	12,625	Non Liquefaction
3,1	500	Clay Saturated	4,416	1,219	3,164	9,81	1,05	0,994	0,33	1,396	0,111	12,628	Non Liquefaction
3,1	510	Clay Saturated	4,388	1,214	3,164	9,81	1,05	0,994	0,33	1,397	0,110	12,665	Non Liquefaction
3,2	520	Clay Saturated	4,501	1,255	3,164	9,81	1,10	0,994	0,33	1,391	0,109	12,713	Non Liquefaction
3,1	530	Clay Saturated	4,455	1,246	3,164	9,81	1,10	0,994	0,33	1,392	0,109	12,773	Non Liquefaction
3,1	540	Clay Saturated	4,456	1,247	3,164	9,81	1,10	0,994	0,33	1,392	0,109	12,771	Non Liquefaction
3,2	550	Clay Saturated	4,575	1,289	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,108	12,807	Non Liquefaction
3,2	560	Clay Saturated	4,572	1,288	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,108	12,811	Non Liquefaction
3,2	570	Clay Saturated	4,572	1,288	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,108	12,811	Non Liquefaction
3,2	580	Clay Saturated	4,587	1,291	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,386	0,108	12,793	Non Liquefaction
3,2	590	Clay Saturated	4,589	1,291	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,108	12,789	Non Liquefaction
3,2	600	Clay Saturated	4,592	1,292	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,108	12,786	Non Liquefaction
3,2	610	Clay Saturated	4,591	1,291	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,108	12,787	Non Liquefaction
3,2	620	Clay Saturated	4,592	1,291	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,108	12,786	Non Liquefaction
3,2	630	Clay Saturated	4,593	1,292	3,164	9,81	1,15	0,993	0,33	1,385	0,108	12,785	Non Liquefaction

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## PERHITUNGAN FREKUENSI

Tabel 6. Perhitungan Frekuensi Kejadian Peluang Kegagalan pada KP 62+300

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = f <sub>kp</sub>	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
1	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,644	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,597	0,107	Aman	1
2	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,075	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,694	0,009	Aman	1
3	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,725	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,389	0,314	Aman	1
4	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,680	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,605	0,098	Aman	1
5	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,146	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,485	0,219	Aman	1
6	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,742	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,393	0,310	Aman	1
7	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,058	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,690	0,013	Aman	1
8	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,687	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,607	0,097	Aman	1
9	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,878	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,198	0,505	Aman	1
10	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,058	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,239	0,464	Aman	1
11	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,926	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,660	0,043	Aman	1
12	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,108	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,702	0,002	Aman	1
13	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,391	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,314	0,389	Aman	1
14	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,828	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,413	0,291	Aman	1
15	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,152	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,486	0,217	Aman	1
16	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,189	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,268	0,435	Aman	1
17	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,777	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,175	0,528	Aman	1
18	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,144	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,710	-0,007	Gagal	0
19	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,780	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,176	0,527	Aman	1

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = fkp	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
20	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,250	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,282	0,421	Aman	1
21	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,821	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,185	0,518	Aman	1
22	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,577	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,582	0,122	Aman	1
23	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,664	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,601	0,102	Aman	1
24	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,968	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,670	0,033	Aman	1
25	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,649	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,372	0,331	Aman	1
26	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,945	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,439	0,264	Aman	1
27	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,940	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,212	0,491	Aman	1
28	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,531	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,571	0,132	Aman	1
29	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,235	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,505	0,199	Aman	1
30	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,847	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,191	0,512	Aman	1
31	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,764	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,624	0,079	Aman	1
32	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,190	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,494	0,209	Aman	1
33	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,562	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,578	0,125	Aman	1
34	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,316	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,523	0,180	Aman	1
35	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,702	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,159	0,545	Aman	1
36	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,124	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,705	-0,002	Gagal	0
37	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,126	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,706	-0,002	Gagal	0
38	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,756	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,396	0,307	Aman	1
39	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,036	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,460	0,244	Aman	1
40	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,943	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,213	0,490	Aman	1
41	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,477	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,559	0,144	Aman	1

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = f <sub>kp</sub>	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
42	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,148	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,485	0,219	Aman	1
43	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,733	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,165	0,538	Aman	1
44	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,288	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,291	0,413	Aman	1
45	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,363	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,308	0,396	Aman	1
46	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,325	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,525	0,178	Aman	1
47	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,431	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,323	0,380	Aman	1
48	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,404	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,317	0,386	Aman	1
49	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,463	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,556	0,147	Aman	1
50	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,170	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,264	0,439	Aman	1
51	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,108	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,702	0,002	Aman	1
52	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,160	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,488	0,216	Aman	1
53	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,189	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,494	0,209	Aman	1
54	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,161	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,262	0,441	Aman	1
55	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,881	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,650	0,053	Aman	1
56	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,694	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,382	0,321	Aman	1
57	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,813	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,184	0,520	Aman	1
58	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,944	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,439	0,265	Aman	1
59	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,689	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,607	0,096	Aman	1
60	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,420	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,546	0,157	Aman	1
61	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,931	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,436	0,268	Aman	1
62	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,337	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,302	0,402	Aman	1
63	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,118	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,704	-0,001	Gagal	0

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = f <sub>kp</sub>	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
64	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,333	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,301	0,402	Aman	1
65	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,909	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,205	0,498	Aman	1
66	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,685	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,155	0,549	Aman	1
67	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,991	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,224	0,480	Aman	1
68	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,779	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,176	0,528	Aman	1
69	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,806	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,634	0,070	Aman	1
70	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,045	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,236	0,468	Aman	1
71	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,339	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,528	0,175	Aman	1
72	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,596	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,135	0,569	Aman	1
73	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,360	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,533	0,171	Aman	1
74	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,581	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,357	0,346	Aman	1
75	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,616	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,591	0,113	Aman	1
76	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,054	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,689	0,014	Aman	1
77	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,687	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,607	0,097	Aman	1
78	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,371	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,309	0,394	Aman	1
79	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,611	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,138	0,565	Aman	1
80	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,847	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,191	0,512	Aman	1
81	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,092	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,472	0,231	Aman	1
82	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,909	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,205	0,498	Aman	1
83	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,787	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,178	0,526	Aman	1
84	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,146	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,259	0,445	Aman	1
85	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,589	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,359	0,345	Aman	1

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = f <sub>kp</sub>	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
86	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,864	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,421	0,283	Aman	1
87	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,691	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,608	0,096	Aman	1
88	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,028	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,458	0,246	Aman	1
89	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,751	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,395	0,308	Aman	1
90	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,678	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,153	0,550	Aman	1
91	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,008	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,679	0,024	Aman	1
92	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,005	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,453	0,251	Aman	1
93	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,240	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,280	0,424	Aman	1
94	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,033	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,685	0,019	Aman	1
95	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,739	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,618	0,085	Aman	1
96	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,842	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,416	0,288	Aman	1
97	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,900	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,429	0,274	Aman	1
98	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,274	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,288	0,416	Aman	1
99	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,596	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,586	0,117	Aman	1
100	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,633	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,594	0,109	Aman	1
101	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,610	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,589	0,114	Aman	1
102	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,247	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,507	0,196	Aman	1
103	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,682	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,154	0,549	Aman	1
104	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,315	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,297	0,406	Aman	1
105	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,117	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,704	0,000	Gagal	0
106	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,676	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,604	0,099	Aman	1
107	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,497	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,338	0,365	Aman	1

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = f <sub>kp</sub>	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
108	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,354	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,531	0,172	Aman	1
109	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,042	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,461	0,242	Aman	1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
973	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,015	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,681	0,023	Aman	1
974	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,989	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,223	0,480	Aman	1
975	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,852	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,418	0,285	Aman	1
976	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,560	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,578	0,125	Aman	1
977	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,301	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,294	0,410	Aman	1
978	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,531	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,346	0,358	Aman	1
979	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,570	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,354	0,349	Aman	1
980	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,430	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,548	0,155	Aman	1
981	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,318	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,523	0,180	Aman	1
982	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,718	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,614	0,090	Aman	1
983	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,637	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,144	0,560	Aman	1
984	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,912	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,206	0,497	Aman	1
985	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,115	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,478	0,226	Aman	1
986	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,488	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,562	0,142	Aman	1
987	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,528	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,345	0,358	Aman	1
988	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,398	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,541	0,162	Aman	1
989	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,036	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,460	0,244	Aman	1

KP 62+300													
Frekuensi Kejadian	Jenis Tanah	$\sigma_v$ (N/m <sup>2</sup> )	$\sigma_v'$ (N/m <sup>2</sup> )	a max = f <sub>kp</sub>	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	rd	N	CRR	CSR	g(x)	Kategori	Nilai
990	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,871	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,197	0,507	Aman	1
991	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,024	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,457	0,246	Aman	1
992	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,240	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,506	0,198	Aman	1
993	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,570	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,580	0,123	Aman	1
994	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,306	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,521	0,183	Aman	1
995	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,971	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,445	0,258	Aman	1
996	Clay Saturated	4,744078	1,381225	3,108	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,702	0,002	Aman	1
997	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,680	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,605	0,098	Aman	1
998	Clay Saturated	4,744078	1,381225	0,728	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,164	0,539	Aman	1
999	Clay Saturated	4,744078	1,381225	1,260	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,284	0,419	Aman	1
1000	Clay Saturated	4,744078	1,381225	2,790	9,81	1,30	0,992	0,33	0,703	0,630	0,073	Aman	1

Jumlah Total Data	=	1000
Jumlah Aman	=	978
Ps	=	97,8%
Pg	=	2,2%

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## PERHITUNGAN KONSEKUENSI

Tabel 7. Hasil Perhitungan untuk Tegangan-tegangan yang Bekerja di Pipa

KP 62+	z (in)	Pi (psi)	Pe (psi)	Ao (in <sup>2</sup> )	Ai (in <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (psi)	$\sigma_P$ (psi)	$\sigma_T$ (psi)	$\sigma_X$ (psi)	$\sigma_B$ (psi)	$\sigma_L$ (psi)	$\sigma_C$ (psi)	SMYS (psi)	Batas Minimum Kriteria < 0,9 SMYS (psi)	Rangking
300	1,30	1670	99,88	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,35	0,77	29617	40972,86	46800	42120	1
310	1,30	1670	99,96	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,35	0,77	29617	40972,85	46800	42120	1
320	1,25	1670	95,99	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,44	0,77	29617	40972,87	46800	42120	1
330	1,25	1670	96,04	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,44	0,77	29617	40972,87	46800	42120	1
340	1,20	1670	92,13	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,53	0,77	29617	40972,88	46800	42120	1
350	1,15	1670	88,37	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,61	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
360	1,10	1670	84,45	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,71	0,77	29617	40972,91	46800	42120	1
370	1,05	1670	80,61	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,79	0,77	29618	40972,92	46800	42120	1
380	1,05	1670	80,61	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,79	0,77	29618	40972,92	46800	42120	1
390	1,05	1670	80,61	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,79	0,77	29618	40972,92	46800	42120	1
400	1,05	1670	80,61	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,79	0,77	29618	40972,92	46800	42120	1
410	1,00	1670	76,85	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
420	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
430	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
440	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
450	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
460	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
470	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
480	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1

KP 62+	z (in)	Pi (psi)	Pe (psi)	Ao (in <sup>2</sup> )	Ai (in <sup>2</sup> )	$\sigma_H$ (psi)	$\sigma_P$ (psi)	$\sigma_T$ (psi)	$\sigma_X$ (psi)	$\sigma_B$ (psi)	$\sigma_L$ (psi)	$\sigma_C$ (psi)	SMYS (psi)	Batas Minimum Kriteria < 0,9 SMYS (psi)	Rangking
490	1,00	1670	76,77	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,88	0,77	29618	40972,94	46800	42120	1
500	1,05	1670	80,61	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,79	0,77	29618	40972,92	46800	42120	1
510	1,05	1670	80,61	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,79	0,77	29618	40972,92	46800	42120	1
520	1,10	1670	84,45	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,71	0,77	29617	40972,91	46800	42120	1
530	1,10	1670	84,45	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,71	0,77	29617	40972,91	46800	42120	1
540	1,10	1670	84,45	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,71	0,77	29617	40972,91	46800	42120	1
550	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
560	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
570	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
580	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
590	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
600	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
610	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
620	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1
630	1,15	1670	88,29	615,75	572,56	46760	14028	15552	36,62	0,77	29617	40972,90	46800	42120	1

## LAMPIRAN GAMBAR



Proses Test Pit di Lokasi Rencana Crossing  
(Sumber: Dokumen PT. Pelabuhan Indonesia III)



Lokasi pipa gas di KP 62+400  
(Sumber: dokumentasi pribadi)



Gambaran Topografi Tempat Pipa Terpendam



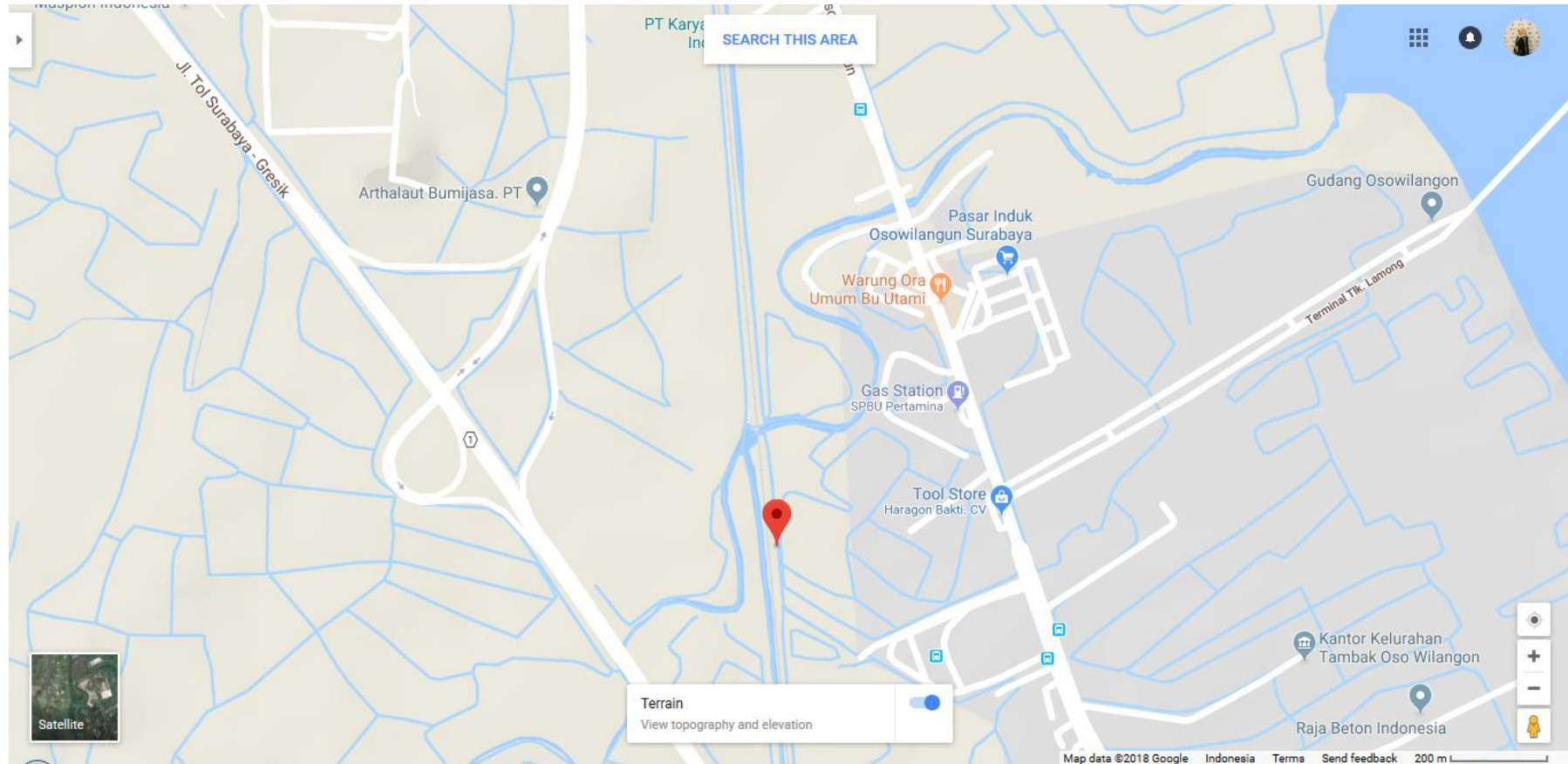
## LAMPIRAN

Lokasi Rencana *Crossing Flyover* Teluk Lamong dan Pipa Gas (Ditunjukkan dengan titik merah pada peta)

Google Maps 7°12'58.7"S 112°38'58.9"E



Peta Topografi Lokasi Rencana *Crossing Flyover* Teluk Lamong dengan Pipa Gas (Ditunjukkan dengan titik merah pada peta)





Gambar Rencana Lintasan *Flyover* Teluk Lamong



*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIODATA PENULIS



Sela Ferdiananta A'yun dilahirkan di Lamongan, 10 Mei 1996. Pendidikan MI, SMP dan MA ditempuh di Lamongan dan lulus dari MA Al-Ishlah Paciran, Lamongan tahun 2014. Penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN pada tahun 2014. Selama perkuliahan penulis aktif dalam organisasi kemahasiswaan serta kepanitian event Institut, Himpunan dan ITS Expo. Berbagai pelatihan dan seminar telah penulis ikuti dalam rangka mengembangkan pengetahuan dan wawasan non akademik. Selama aktif di HIMATEKLA, penulis menjadi staff di Departemen Media Informasi tahun 2015/2016 dan pada tahun 2016/2017 penulis menjadi Sekretaris HIMATEKLA. Selain di jurusan penulis juga aktif di event Institut dengan menjadi staff Divisi *Paper Competition* tahun 2016. Penulis memiliki minat dibidang manajemen, sehingga mengambil topik tugas akhir dengan judul “Analisis Risiko pada Pipa Gas terhadap Rencana Pembangunan *Flyover* Teluk Lamong”.